

0011045
Д69

ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги» и «Мосты и тоннели»



МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1975

Дорожно-строительные материалы. Волков М. И., Борщ И. М., Грушко И. М., Королев И. В. Издание 5-е, переработанное и дополненное. Изд-во «Транспорт», 1975. 528 с. Рис. 235, табл. 131, список лит. 31 назв.

В учебнике изложены сведения о строительных материалах, применяемых в строительстве автомобильных дорог и инженерных дорожных сооружений, в достаточном объеме рассмотрены происхождение природных и технологические процессы производства искусственных строительных материалов. Применительно к каждой группе материалов даны их состав, структура и свойства, оценка качества, область применения, правила перевозки и хранения.

Курс «Дорожно-строительные материалы» является основой для продолжения в дальнейшем специальных дисциплин: строительных конструкций, строительного производства, изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и других сооружений.

Учебник предназначен для студентов специальности «Автомобильные дороги» и «Мосты и тоннели», а также для инженеров и техников.

Работу по составлению учебника выполнили: введение — проф. М. И. Волков; гл. 1 — проф. М. И. Волков, проф. И. М. Грушко; гл. 2, 3, 4, 6, 8, 12, 13 — проф. М. И. Волков; гл. 5 и 7 — проф. И. М. Грушко; гл. 9, 11 и 15 — доц. И. В. Королев; гл. 10 и 14 — доц. И. М. Борщ.

Авторы выражают благодарность рецензентам проф. Г. К. Сюньи, доц. М. П. Гребельник, старшим преподавателям В. Н. Томачинскому и А. Е. Стефановичу за ценные замечания и пожелания, которые дали возможность улучшить содержание учебника, а также сотрудникам кафедры, оказавшим значительную помощь в подготовке рукописи к изданию.

Строительными материалами называют материалы, которые используют для строительства и ремонта зданий и сооружений различного назначения. Строительные материалы, соответствующие по размерам, форме, свойствам и другим признакам техническим требованиям и условиям их работы в дорожных конструкциях и сооружениях, называют дорожно-строительными (например, дорожный асфальтобетон, дорожный цементобетон, щебень и песок для дорожных работ, бортовой камень, брусчатка, шашка для мощения и др.).

Подъем промышленного и сельскохозяйственного производства, непрерывное увеличение грузовых и пассажирских перевозок, рост производственных, административных и культурных связей требует значительного развития автомобильного транспорта и дорожной сети. Для выполнения этих работ требуется огромное количество дорожно-строительных материалов. Для устройства только 1 км дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием (при ширине проезжей части 7 м) необходимо примерно 2200 м³ щебня, 1500 м³ песка, 100 т минерального порошка, 90 т битума. Большое количество материалов расходуется для ремонта и содержания автомобильных дорог. При этом необходимо иметь в виду, что стоимость строительных материалов составляет более 50% стоимости дорожных сооружений.

Партия и правительство уделяют большое внимание развитию промышленности строительных материалов и строительной индустрии: растет количество заводов по производству строительных материалов, выпускаются новые машины, создаются полигоны и базы по изготовлению железобетонных изделий, расширяется карьерное хозяйство, постоянно улучшается технология производства, механизация, автоматизация производственных процессов. Все это обеспечивает непрерывный рост выпуска и повышение качества строительных материалов. Непрерывное увеличение выпуска и расширение ассортимента строительных материалов осуществляется на основе достижений передовой науки и техники.

Победа Великой Октябрьской социалистической революции в России открыла новую эру в развитии отечественной науки и техники. В 1923 г. было организовано дорожное научно-исследовательское бюро (Ленинград), научный коллектив которого уже к 1926 г. работал как Центральный научно-исследовательский дорожный институт с сетью республиканских филиалов и исследовательских дорожных лабораторий. Исследованиями коллективов научных работников под руководством профессоров Г. Д. Дубелира, Н. Н. Иванова, П. А. Земятченского, П. В. Сахарова, А. Я. Тихонова, М. М. Филатова, В. В. Охотина, С. М. Муравьянского, А. К. Бируля выполнены значительные работы для развития дорожного строительства, в частности, по технологии строительных материалов.

Период после второй мировой войны характеризуется как новый этап в развитии строительной индустрии и промышленности строительных материалов. Исключительная роль в развитии промышленности дорожно-строительных материалов принадлежит научно-исследовательским институтам (Союздорнии, Госдорнии), учебным автомобильно-дорожным институтам (МАДИ, ХАДИ, КАДИ, СибАДИ и др.), производственным лабораториям.

Особенного развития в последние годы достигли исследования в области керамических изделий, стекла, цемента и технологии цементобетона, органических вяжущих и асфальтобетона, пластмасс и других синтетических материалов. Развитию технологии производства цемента, асфальтовых, керамических и других строительных материалов значительно содействовали исследования дисперсных систем, выполненные акад. П. А. Ребиндером и др.

Для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и сооружений применяют разнообразные материалы, которые в определенном сочетании в конструктивных элементах должны обеспечить необходимую прочность, долговечность и экономичность сооружений. Эти материалы могут быть природными и искусственными.

Природные строительные материалы добывают в местах естественного их образования, обычно в верхних слоях земной коры. В большинстве случаев они могут быть использованы в строительстве без сложной дополнительной переработки (например, глина, песок, гравий, колотые и дробленые скальные горные породы, природные асфальты, в северных районах древесные строительные материалы). Сравнительно несложная добыча и механическая обработка последних имеют целью придать материалу только потребные размеры и форму, а в необходимых случаях и состояние поверхности.

Искусственные строительные материалы изготавливают по специальной технологии из природного сырья или отходов промышленности, а многокомпонентные (например, бетоны) — из смеси разных материалов, причем свойства исходных составляющих претерпевают физико-химические изменения, в результате чего получается новый материал, который приобретает необходимые новые свойства, отличающиеся от исходного сырья. Так, например, в результате обжига предварительно отформованных изделий из глины получают керамические изделия — кирпич, черепицу, трубы; в результате обжига мергеля и последующего помола продуктов обжига получают цемент; после уплотнения смеси щебня, песка, цемента и воды и последующего отвердевания смеси получают цементобетон.

Строительные материалы, которые могут быть получены в районе строительства из местного природного сырья или отходов промышленности, при этом для их добычи и переработки применяют сравнительно несложное оборудование, называют *местными строительными материалами*. Их перевозка осуществляется на относительно небольшие экономически целесообразные расстояния. К этой группе материалов относят песок, каменные материалы из известняков, песчаников и других пород, металлургические шлаки. В ряде случаев некоторые искусственные строительные материалы, которые могут быть получены из местного сырья с применением несложной технологии производства, также могут быть отнесены к группе местных, например известь, кирпич, смешанные цементы.

Применение местных строительных материалов в дорожном строительстве при рациональном конструировании сооружений снижает их стоимость, экономит материалы промышленного производства, сокращает транспортные перевозки и обеспечивает строительству более широкий фронт работ.

Другие более обширные по ассортименту строительные материалы, которые получают из сырья, имеющего относительно ограниченное распространение и для производства которых необходимо заводское оборудование и соответственно квалифицированный персонал, называют строительными материалами *промышленного (централизованного) производства*. К этой группе материалов относят цементы, битумы, металлы, стекло и другие; они обычно поступают на строительство в готовом виде.

При приемке строительных материалов, поступающих на строительные объекты в готовом виде, задача инженера-строителя сводится к умению проверить качество, организовать их правильную перевозку, хранение и использование. При добыче, переработке и изготовлении материалов на месте строительства (например, каменных материалов, различных бетонов) инженер-строитель организует и руководит работами в притрассовых карьерах, на асфальтобетонных и цементобетонных заводах, полигонах и базах. В этом случае необходимо не только глубоко знать свойства исходного сырья, полуфабрикатов и составляющих бетоны, но и уметь организовать технологию производства материалов. Наряду с этим инженер обязан организовать систематический текущий контроль производства полуфабрикатов, материалов и изделий, их хранения и использования. На основе глубоких знаний о материале, его свойствах и особенностях, руководствуясь диалектическим положением о взаимной связи и обусловленности явлений, инженер в каждом конкретном случае должен правильно выбирать необходимый материал, определять наиболее целесообразные технологические приемы, обеспечивающие создание прочного, долговечного и экономичного инженерного сооружения.

Состав, структура и основные свойства дорожно-строительных материалов

§ 1. СВОЙСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дорожно-строительные материалы в период эксплуатации в дорожной одежде подвергаются воздействию внешних механических сил и влиянию физико-химических факторов окружающей среды. К внешним механическим воздействиям относят ударные и статические нагрузки транспортных средств, массу отдельных элементов конструкций, механическую работу воды, льда, ветра. К физико-химическим факторам относят колебания температуры воздуха, инсоляцию, атмосферные осадки, поверхностные и грунтовые воды и др.

В зависимости от того, в каком элементе дорожной конструкции работают материалы, они по-разному подвергаются воздействию внешних сил и физико-химических процессов окружающей среды. Внешние механические воздействия на материалы в дорожных конструкциях могут значительно усиливаться под влиянием факторов среды. Так, атмосферные воды, попадая в отдельные слои дорожной одежды, могут нарушать структурные связи в материале, растворять и вымывать некоторые вещества. Минерализованные воды постепенно разрушают некоторые материалы, например цементный бетон. Колебания температуры вызывают периодические изменения внутренних напряжений в материалах, а также изменение их состояния, что, в конечном счете, приводит к ослаблению структурных связей в материале, появлению микротрещин, сдвигов под воздействием транспортных средств. С течением времени под влиянием воздействия сложного комплекса механических, физических и химических факторов строительные материалы в дорожных конструкциях постепенно разрушаются. Интенсивность процессов разрушения материала в конструкции определяется особенностями внешних воздействий, конструкции дорожной одежды и свойствами дорожно-строительных материалов. Пригодность материала для данных конкретных условий при принятой технологии производства определяют его свойствами.

Свойства материалов в дорожных конструкциях не остаются стабильными, они изменяются под воздействием различных факторов механического и физико-химического порядка. Например, прочность свежеуложенного асфальтобетона при повышении температу-

ры до 50° С уменьшается примерно в 2 раза, а под влиянием инсоляции и воздуха в нем происходят постепенно и более глубокие изменения — он «стареет»; прочность некоторых песчаников и известняков в водонасыщенном состоянии снижается до 25—50%, а древесины сосны при увлажнении до 20% снижается в 1,5 раза по сравнению с воздушносухим состоянием и т. п.

Свойства материалов можно разделить на механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные.

✓ **Механические свойства** характеризуют способность материала сопротивляться деформированию и разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих в результате приложения внешних сил.

Внешние механические нагрузки (они могут быть статическими и динамическими, однократными и многократными) вызывают в материалах нормальные (растягивающие, сжимающие) и касательные напряжения, обуславливающие процессы деформирования материала, которые можно охарактеризовать диаграммами, устанавливающими взаимосвязь между напряжением и деформацией (рис. 1), а также между деформациями при постоянной нагрузке и временем ее действия (рис. 2). По этим диаграммам возможно определить упругие, предельные и остаточные деформации, модули упругости, модули деформации, показатели прочности.

В большинстве случаев определяют только показатели прочности, т. е. напряжение, при котором образец испытуемого материала разрушается. При испытании дорожно-строительных материалов наряду с определением статической прочности (пределов прочности при сжатии, растяжении, изгибе и др.) в необходимых случаях определяют динамическую прочность (при однократной динамической нагрузке) и усталостную прочность (при повторных нагрузках).

Показатели прочности в известной мере являются условными, поскольку их величина зависит и от метода испытания. Например,

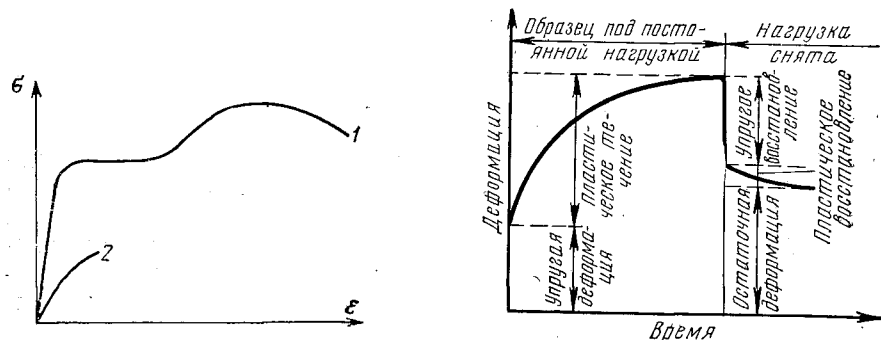


Рис. 1. Влияние напряжений на относительной деформации материалов:

1 — сталь; 2 — бетон

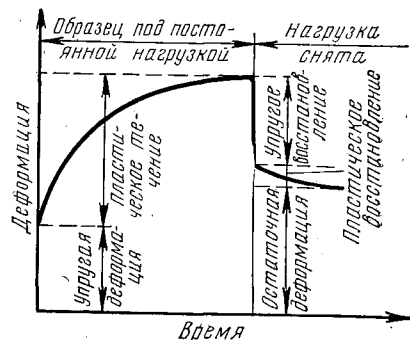


Рис. 2. Закономерности изменения деформаций во времени при действии постоянных напряжений

с увеличением размеров образца показатель прочности его уменьшается вследствие того, что большие образцы сложнее изготовить без дефектов и труднее равномерно нагрузить. Поэтому процессы разрушения при испытании больших образцов начинаются раньше, чем при испытании малых образцов, что и обуславливает уменьшение показателя прочности. Показатели прочности материалов возрастают с увеличением скорости нагружения образцов и уменьшаются при их увлажнении и нагревании. Технология изготовления образцов, состояние их поверхности также заметно влияют на показатель прочности. Поэтому при определении прочности материалов строго придерживаются определенной методики в соответствии с действующими техническими условиями.

Упругость — свойство материала обратимо поглощать энергию, передаваемую внешними воздействиями, что внешне выражается в восстановлении первоначальной формы и объема образца после прекращения действия внешних сил, под влиянием которых форма материала в той или иной мере изменилась.

Вязкость — свойство твердых тел при воздействии внешних сил необратимо поглощать механическую энергию при пластической деформации. Вязкость жидких материалов характеризует способность сопротивляться перемещению одного слоя материала относительно другого. Абсолютно упругих и абсолютно вязких материалов нет, реальные материалы обладают в той или иной степени упругостью и одновременно вязкостью.

Упругость и вязкость материала характеризуют соответственно *модулем упругости и коэффициентом вязкости*:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}; \quad \eta = \frac{\sigma}{\dot{\epsilon}},$$

где E , η — модуль упругости и коэффициент вязкости; σ — напряжение, кгс/см²; ϵ , $\dot{\epsilon}$ — относительная деформация и скорость изменения относительной деформации, $\frac{1}{с}$.

С вязкостью и упругостью материалов в известной мере связаны пластичность и хрупкость.

Пластичностью материала называют его способность необратимо деформироваться под влиянием действующих на него усилий без разрыва сплошности (образования трещин).

Хрупкость — свойство материалов под действием внешних сил разрушаться, не давая остаточных пластических деформаций. Разрушению предшествуют только упругие деформации. Хрупкость противоположна пластичности. Хрупкость и пластичность материалов изменяются в зависимости от температуры и режима нагружения. Например, битумы хрупки при пониженной температуре и быстро нарастающей нагрузке и пластичны при медленно действующей нагрузке и повышенной температуре. Глины хрупки в сухом состоянии и пластичны во влажном. Хрупкие материалы плохо сопротивляются растяжению, динамическим и повторным нагрузкам.

Для пластичных материалов характерна *ползучесть*, т. е. их способность длительно деформироваться под действием постоянной нагрузки. Ползучесть материалов возрастает с уменьшением их вязкости, поэтому большей ползучестью обладают вязкие, пластичные материалы (например, асфальтобетоны) и меньшей — хрупкие, упругие материалы (например, цементобетон). Ползучесть учитывают, если ее деформации влияют на прочность или эксплуатационные свойства материалов в сооружении.

В ряде случаев (например, в расчетах и технологии изготовления предварительно напряженных бетонных конструкций) учитывают *релаксацию напряжений* — способность к их уменьшению в деформированном на заданную величину материале. Скорость релаксации напряжений так же, как и скорость ползучести, возрастает с уменьшением вязкости материала.

Твердость — способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого материала. От твердости зависит, в частности, истираемость поверхности слоев материала в дорожных покрытиях.

Механические свойства материала используют в расчетах на прочность сооружений, в расчетах технологических процессов и др.

✓ **Физические свойства** характеризуют физическое состояние материала (например, плотность или объемная масса), его сложение (пористость) или определяют его отношение к физическим процессам окружающей среды (взаимодействие с водой, теплом и т. д.).

Плотность — масса вещества материала в единице его объема.

Объемная масса — масса единицы объема материала в естественном состоянии (с порами и пустотами и т. п.). Объемная масса строительных материалов обычно меньше плотности. Чем меньше пористость материала, тем ближе значения объемной массы и плотности. Поэтому по объемной массе можно судить о плотности материала. Показатель объемной массы материала необходим для подсчета его массы, массы строительных конструкций, для определения пористости материалов. Средние значения плотности и объемной массы материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Плотность, г/см ³	Объемная масса, г/см ³	Насыпная масса, г/см ³
Гранит	2,6—2,8	2,5—2,7	—
Известняк плотный	2,4—2,6	1,8—2,4	—
Кирпич глиняный	2,9—3,1	1,6—1,8	—
Стекло	2,5—3,0	2,5—2,3	—
Древесина	1,5—1,6	0,5—1,0	—
Битум	1,0—1,2	1,0	—
Пластмассы	1,0—1,2	0,1—1,2	—
Сталь	7,8—7,9	7,8—7,9	—
Щебень гранитный	2,6—2,8	—	1,40—1,60
Песок кварцевый	2,6—2,7	—	1,35—1,60
Портландцемент	2,9—3,3	—	1,20—1,30

У рыхлых зернистых материалов различают *насыпную массу* — массу единицы объема материала в рыхлом состоянии. Насыпная масса характеризует, кроме пор в зернах материала, и пустоты между зернами. С объемной массой связаны прочность, водные свойства, теплопроводность. Чем больше объемная масса материала, тем больше его прочность, тем лучше он проводит тепло, звук и т. п.

Пористость материала характеризует количество пор и микротрещин в единице объема материала:

$$V_n = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma}\right) 100,$$

где γ — плотность материала; γ_0 — объемная масса.

Пористость характеризует суммарное количество пор, но не размеры и расположение их в материале. Пористость косвенно характеризует прочность, водные и другие свойства материалов.

Важной характеристикой материала является *коэффициент конструктивного качества*, представляющий собой отношение показателя прочности при сжатии материала к его объемной массе. Чем выше коэффициент конструктивного качества, тем лучше материал, поскольку масса элементов инженерного сооружения в этом случае уменьшается. Высокими коэффициентами конструктивного качества обладают такие материалы, как дюралюминий, стеклопластики, древесина и др.; низкими коэффициентами обладают каменные материалы, тяжелые цементные бетоны.

Водные свойства характеризуют взаимодействие материала с водой в парообразном или жидком состоянии, которое в значительной мере зависит от свойств внешней и внутренней поверхностей материала. Материал может увлажняться при смачивании, капиллярном подсосе, сорбцией парообразной воды. Различают следующие водные свойства: *смачиваемость* — растекание по поверхности материала водной пленки, которая удерживается адгезионными силами; *влажность* — определяет количество воды, поглощенной и удерживаемой материалом за счет молекулярных и капиллярных сил.

Природная влажность характеризуется количеством воды, поглощенной материалом в ее природном состоянии. Влажность выражается в процентах по массе или объему (что вернее).

Водопоглощение — количество воды, которое может поглотить и удержать материал молекулярными и капиллярными силами при атмосферном давлении.

Водонасыщение определяется количеством воды, которое может поглотить материал при вакууме или повышенном давлении. В этом случае из открытых пор вытесняется воздух, вследствие чего материал поглощает больше воды, чем при атмосферном давлении.

Морозостойкость — способность материала при попеременном замораживании и оттаивании не проявлять заметных признаков разрушения. При воздействии знакопеременных температур след-

ствие изменения объемов составляющих материал компонентов (кристаллы, зерна и др.) постепенно нарушаются микросвязи между ними, что приводит, в конечном счете, к снижению физико-механических свойств. Более интенсивно проявляется воздействие переменных температур на водонасыщенные каменные материалы (строительный кирпич, пористые горные породы, тяжелый цементобетон). В этом случае вода, находящаяся в порах и микротрещинах, замерзая при понижении температуры, переходит в твердое состояние и увеличивается в объеме примерно на 10%. Возникающее давление льда при многократном повторении постепенно разрушает материал. Морозостойкость каменных материалов определяется крупностью составляющих, объемной массой и характером пористости. Чем мельче кристаллы, чем больше плотность и меньше количество открытых пор, тем выше морозостойкость. Чем меньше диаметр пор, тем ниже температура заморзания воды, заключенной в них. Так, при диаметре капилляра 1,5 мм температура заморзания воды — 6,4° С, при 0,24 мм — 13,3° С, при 0,16 мм — 14,6° С, при 0,06 мм — 18,4° С.

В зависимости от климатических условий, в которых будет работать материал, к нему предъявляются и различные требования по показателю морозостойкости, определяемой количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания до разрушения материала. Часто определяют *коэффициент морозостойкости* как отношение показателя прочности материала в водонасыщенном состоянии после испытания на морозостойкость к показателю прочности до испытания.

К физическим свойствам материала относят *теплоемкость* (свойство материала поглощать при нагревании тепло), *теплопроводность* (свойство материала проводить тепло через свою толщу), *воздухопроницаемость*, *термические свойства* (огнеупорность, т. е. способность материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не деформируясь при этом), *огнестойкость* (способность сопротивляться действию огня), *проницаемость излучений ядерного распада* и др.

✓ **Химические свойства** материала определяют его способность вступать в химическое взаимодействие с веществами среды, в которой он находится. В природных условиях наблюдаются сложные процессы физико-химического взаимодействия материала со средой.

Наиболее стойкими материалами по отношению к агрессивным средам (воздействию кислот и щелочей) являются керамические материалы, а также изделия из пластмасс. Неустойчивы в кислой среде известняки, доломиты, древесина, портландцементы; в щелочной среде — древесина, битумы.

К **физико-химическим свойствам** материалов относят их свойства растворяться, кристаллизоваться, затвердевать в тех или иных условиях, их клеящую способность (адгезию), коррозионную устойчивость, стойкость против гниения, токсичность и др. Большое значение имеют физико-химические свойства материалов, характе-

ризующие интенсивность физико-химических процессов на поверхностях разделов двух фаз (например, сорбция, адгезия и др.).

Технологические свойства характеризуют поведение материала при технологических процессах их обработки и переработки (например, буримость, дробимость скальных горных пород, формуемость, слеживаемость, нерасслаиваемость бетонных смесей). По технологическим свойствам судят о возможности переработки и получения доброкачественной продукции из исходных материалов при принятой технологии и имеющемся технологическом оборудовании.

Эксплуатационные свойства обуславливают работу материала в элементах дорожных конструкций на протяжении определенного отрезка времени. Важным эксплуатационным свойством является *долговечность* материала, характеризующая продолжительность его работы (срок службы) в определенных конструктивных элементах сооружений и в данных условиях эксплуатации до их предельно допустимого изменения свойств. Долговечность материала обусловлена его способностью сопротивляться комплексному воздействию механических нагрузок, изменению температуры и влажности, действию различных растворов солей, газов, совместному воздействию воды, мороза, солнечных лучей.

Часто с долговечностью материалов связывают *выносливость* — их способность сопротивляться многократно прилагаемым механическим воздействиям. У большинства строительных материалов многократно повторяемые механические воздействия вызывают разрушение структуры, вследствие чего ухудшаются их механические свойства. Выносливость обычно измеряется количеством нагружений, которые выдержал материал до разрушения.

§ 2. СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ

Свойства любого строительного материала зависят от состава, структуры и состояния. Материалы одного и того же вещественного состава, но разной структуры обладают различными свойствами.

Структура (строение) материала характеризуется качеством и количественным соотношением составляющих, их взаимным расположением и характером связей между ними. Структура дорожно-строительных материалов сложна, поэтому ее классифицируют по различным признакам. Так, для бетонов различают *одно-, двух-, трех- и многокомпонентные* структуры. Изучение многокомпонентных структур на свойства материалов затруднено, поэтому условно выделяют двухкомпонентные структуры. Так, например, структуру бетонов расчленяют на *макроструктуру* — двухкомпонентную систему, состоящую из щебня и раствора (минимальный размер зерна 5 мм), *мезоструктуру* — двухкомпонентную систему, состоящую из песка и вяжущего (размер зерна 5—0,05 мм) и *микроструктуру* вяжущего. Расчленение многокомпонентных структур на двухкомпонентные позволяет свести изучение сложных структур и их влияние на свойства материалов к изучению простых двухкомпонентных структур.

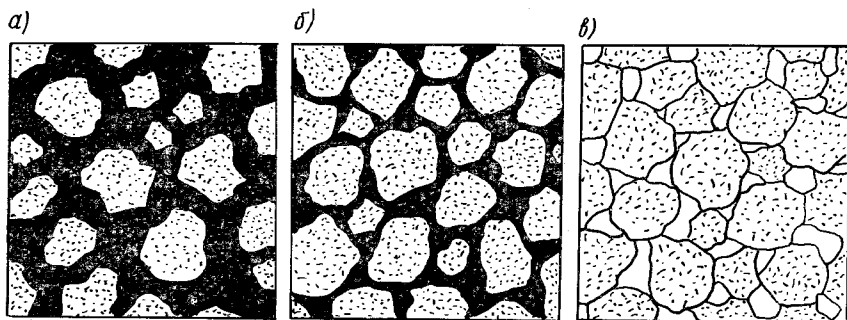


Рис. 3. Схема структур конгломератных материалов:
а — базальная; б — поровая; в — контактная

Среди названных двухкомпонентных структур бетонов различают структуры с *базальной, поровой и контактной цементацией* (рис. 3). В структурах с базальной цементацией зерна щебня не образуют взаимных контактов, они как бы погружены в цементирующее вещество. В этом случае свойства материалов обуславливаются преимущественно свойствами цемента, влияние зерен щебня невелико. При постепенном насыщении базальной структуры щебнем последняя переходит в структуру с поровой цементацией, при этом образуется плотный каркас, в котором отдельные зерна склеены в монолит сравнительно тонкой прослойкой цементирующего вещества и в этом случае влияние зерен значительнее. Если в дальнейшем увеличивать количество зерен щебня в бетонах, их структура переходит в структуру с контактной цементацией. Переход от одной структуры к другой вызывает изменение свойств материала.

Для дисперсных материалов по характеру связей между компонентами акад. П. А. Ребиндер выделяет три типа структур — *коагуляционную, конденсационную и кристаллизационную*.

Коагуляционные структуры — пространственные микросетки, возникшие путем беспорядочного сцепления мельчайших частиц дисперсной фазы через тонкие прослойки жидкой или газообразной среды за счет Вандерваальсовых сил. Свойства коагуляционных структур обусловлены наличием тонких прослоек в местах контакта частиц фазы, которые в значительной степени определяют силы сцепления, вследствие чего при механическом или температурном воздействии возможно нарушение контактов между структурными элементами. Поэтому эти структуры характеризуются малой прочностью, хорошо выраженной пластичностью, для них характерна *тиксотропность* — способность восстанавливать структуру (структурные связи) после ее разрушения механическими или температурными воздействиями. Такие структуры характерны для цементного и глиняного теста, асфальтовяжущего вещества в асфальтобетонах и др.

Конденсационные структуры представляют собой хрупкие пространственные микросетки, которые образуются из коагуляционных структур вследствие уменьшения в системе жидкой фазы (например, высушенные глины). В конденсационных структурах возникает непосредственный контакт между частицами фазы, вследствие чего прочность конденсационной структуры увеличивается. При этом утрачивается тиксотропность, пластичность и эластичность. Конденсационные структуры могут обратимо переходить в коагуляционные при увеличении в системе жидкой фазы.

В кристаллизационных структурах пространственные сетки образуются в результате непосредственного срастания отдельных кристаллов новообразований, вследствие чего эти структуры обладают большой прочностью, разрушаются без заметных остаточных деформаций и характеризуются отсутствием тиксотропных свойств. Пластичность кристаллизационной структуры может наблюдаться лишь в тех случаях, когда пластичностью обладают структурные элементы — кристаллики. Эти структуры являются долговечными и устойчивыми при большой плотности и отсутствии в них тех или иных дефектов. Кристаллизационные структуры характерны для горных пород, цементобетонов, гипсовых изделий и др.

Между рассмотренными структурами могут быть промежуточные: кристаллизационно-конденсационные, коагуляционно-конденсационные.

По крупности зерен составляющих в каменных материалах обычно различают *крупно-, средне- и мелкокристаллические* структуры. Форма зерен структурных составляющих также влияет на образование определенных структур и свойства материалов.

С уменьшением крупности зерен существенно изменяются свойства материала. Это связано с тем, что с уменьшением зерен структурных составляющих изменяется характер неоднородности материала, а следовательно, и его внутреннее напряженное состояние. В общем случае чем меньше крупность зерен материала, тем более он прочен.

Различают *крупно-, средне- и тонкопористые* текстуры, а также *открытую и закрытую* пористость в материалах.

На свойства материалов существенное влияние оказывают микродфекты в кристаллах и частицах, образующих кристаллизационную структуру. Наибольшее количество дефектов скапливается на границах срастания микрочастиц (межкристаллические слои) и на поверхностях раздела — поверхностных слоях. Структура материалов у поверхности значительно отличается от структуры в их толще. Атомы, молекулы вещества не уравновешены на поверхности материала другими его частицами, поэтому они более активны, чем аналогичные частицы вещества внутри материала. Вследствие этого поверхность материала всегда покрыта слоями адсорбированных газообразных и других веществ, что существенно изменяет не только свойства поверхностного слоя, но и свойства материала в целом.

Структура материалов нестабильна. Процессы, протекающие в них, вызываемые как воздействием внешней среды, так и внутрен-

ней природой, изменяют их структуру, вызывая в материалах внутренние напряжения. В неоднородных материалах (например, бетонах) в отдельных местах (поры, микротрещины, контактные слои, дефекты в кристаллах и т. п.) возникают концентрации микронапряжений и микродеформаций, что, в свою очередь, в зависимости от условий способствует увеличению или уменьшению количества дефектов в структуре материала. Процессы, происходящие в материалах, в значительной степени являются релаксационными и, как правило, протекают крайне медленно. Вследствие этого, структура материала всегда находится в неравновесном, внутренне напряженном состоянии.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

При всем многообразии технологических приемов при производстве искусственных строительных материалов имеется ряд общих принципиальных положений, которыми руководствуются при выборе технологического процесса переработки и производства строительных материалов заданных свойств, поскольку теоретическим обоснованием технологии материалов являются основные законы физики и химии и прежде всего законы термодинамики. Первый закон термодинамики представляет собой математическое выражение закона сохранения энергии: $Q = \Delta U + A$, из которого следует, что приданное системе количество тепла Q расходуется только на увеличение внутренней энергии ΔU и на совершение работы A . В основе второго закона термодинамики лежит утверждение, что все процессы в материалах протекают в направлении от менее вероятного состояния к более вероятному, равновесному состоянию (равновесное состояние характерно для данных внешних условий и восстанавливается при его нарушении). Первый закон термодинамики позволяет проводить теплотехнические расчеты технологических процессов, а с помощью второго закона определяют направление самопроизвольно идущих процессов в материалах и пределы их протекания. Для выбора и обоснования технологических принципов получения материалов заданных свойств необходимо иметь представление о составе и молекулярном строении веществ, о внутри- и межмолекулярных связях, а также о возможных закономерностях кинетики процессов химических реакций.

Несмотря на многообразие процессов, протекающих в материалах во время их технологической переработки и в условиях эксплуатации, можно выделить и некоторые общие положения.

В большинстве случаев в материалах одновременно протекают противоположные процессы: параллельно со структурообразованием протекает деструкция, т. е. в материалах одновременно протекают процессы, совершенствующие структуру, и процессы, ее разрушающие. При перемешивании смесей наряду с процессами смешения протекает и сепарирование, а при их виброуплотнении одновременно происходит и разуплотнение. На различных этапах

одни процессы преобладают над другими, что обуславливается характером механических и других воздействий. Например, в материалах раннего возраста преобладает структурообразование, в позднем возрасте — деструкция (разрушение структуры). При больших механических нагрузках преобладают процессы разрушения материалов, а при небольших возможно и упрочнение.

Другая особенность процессов, протекающих в материалах, заключается в том, что большинство из них развивается по родственным закономерностям, напоминающим по своему характеру закономерности цепных реакций, т. е. с развитием этих процессов их скорость возрастает или затухает в зависимости от степени завершенности. Такие закономерности в ряде случаев можно описать зависимостями типа

$$\frac{dy}{dt} = ky^m,$$

где y — переменная, характеризующая количественно процесс (например, степень растворения, смещения, уплотнения и т. д.); $\frac{dy}{dt}$ — скорость изменения этой переменной во времени; k — коэффициент. Если $m=1$, то функция принимает вид экспоненты, если $m>1$ — гиперболы и $m<1$ — параболы.

На основе изложенных и других закономерностей физики и химии базируются общие технологические принципы получения искусственных строительных материалов с заданными свойствами.

Методы воздействия на материалы, методы их переработки должны соответствовать характеру исходного сырья, основным закономерностям структурообразования, протекающим в материалах.

При выборе сырья проверяют его пригодность для проектируемого материала, а также возможность рациональной его переработки при имеющемся технологическом оборудовании. Режимы перемешивания и уплотнения, формирования структуры материалов должны соответствовать природе материала и другим условиям, обеспечивающим получение материалов с оптимальным сочетанием свойств. Это обстоятельство обуславливает многообразие технологических процессов, их режимов в технологии производства различных строительных материалов.

Важным технологическим принципом является получение материалов с оптимальной однородностью и заданной плотностью структуры.

Производство материалов с минимально внутренне напряженной и внутренне деформированной структурой — важная задача, решению которой помогает диалектическое представление о развитии противоречивых (противоположных) процессов в материалах. Поэтому, например, ускоряя сушку древесины, учитывают, что при этом интенсифицируется возникновение дополнительных внутренних микронапряжений, микротрещин и других дефектов. Стремясь ускорить твердение цементобетонных изделий, принимают меры, чтобы не допустить развития деструкции в бетонах. Дробление, из-

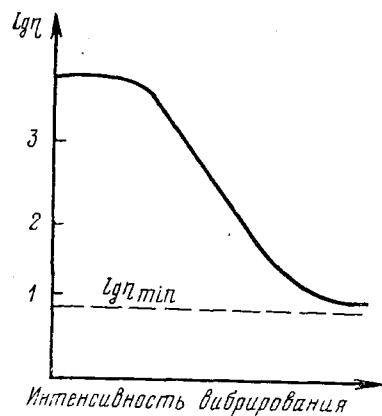


Рис. 4. Уменьшение вязкости бетонной смеси в результате тиксотропного разрушения структуры при вибрировании

вследствие чего резко снижается их вязкость и они приобретают свойства жидкости (рис. 4), что облегчает перемешивание, уплотнение смесей и получение из них изделий заданной плотности. Вибрация облегчает и другие виды механической обработки материалов (уменьшает трение, облегчает резание и т. д.). Для каждого конкретного случая использования вибрации устанавливают оптимальные величины частоты и амплитуды колебаний, а также момент приложения и продолжительность вибрации к перерабатываемому материалу.

Из физических приемов в технологии строительных материалов используют регулирование температурного воздействия на материал, что позволяет управлять скоростью физических и химических процессов, протекающих в материалах (обжиг керамики, сушка древесины, твердение минеральных вяжущих, разжижение битумов, смол и др.).

Продолжительность и величина температурного воздействия, выбор теплоносителя определяются конкретными особенностями технологического процесса.

Добавки как средство регулирования химическим путем тех или иных свойств строительных материалов известны давно, однако широкое применение они получили лишь в последние десятилетия. Введение добавок в небольших количествах позволяет влиять на технологические параметры строительных материалов, замедлять или ускорять процессы, протекающие в них, улучшать их свойства, обеспечивать в ряде случаев возможность применения более гибкой и удобной технологии производства строительных материалов. Некоторые из них способствуют растворению компонентов перерабатываемого материала, другие являются центрами кристаллизации, что ускоряет процессы структурообразования и др.

мельчение (помол) материалов организуют таким образом, чтобы в зернах полученного материала было минимальное количество микротрещин, микродефектов, внутренних напряжений.

Многочисленные технологические приемы, позволяющие управлять сложными процессами структурообразования и получать материалы с оптимальными свойствами, можно условно разделить на три группы: механические, физические и химические.

Одним из механических приемов управления структурообразования является вибрация. В процессе вибрационного воздействия структура тиксотропных материалов (например, бетонных смесей) разрушается,

В технологии материалов используют поверхностно-активные вещества, которые, адсорбируясь на поверхности зерен материала, уменьшают величину поверхностной энергии на границах раздела, например твердое тело — жидкость (газ). Ранее указывалось, что особенности поверхностных слоев материалов обусловлены свободными (неуравновешенными) связями молекул, атомов, находящихся на поверхности тела, которые и определяют поверхностную энергию. Величина поверхностной энергии в значительной мере предопределяет смачивание, прилипание, склеивание, трение, сваривание и т. д. Свойства поверхностных слоев определяют в известной мере и такие процессы, как растворение, кристаллизация, испарение, коррозия и т. п. Поверхностный слой материала обуславливает и процессы адсорбции — насыщение (поглощение) свободных связей поверхностного слоя материала молекулами поверхностно-активных веществ, что уменьшает поверхностную энергию тела. Адсорбция поверхностно-активных веществ в значительной степени зависит от их молекулярного строения, для них характерны молекулы с асимметричным строением. Полярные группы таких веществ находятся в одной части молекулы, а неполярные (углеводородный радикал) в другой. Молекулы притягиваются полярными группами к твердым поверхностям, а углеводородные цепи этих молекул свободно обращены наружу. По мере повышения концентрации поверхностно-активных веществ они занимают все более ориентированное положение в поверхностном слое, располагаясь в виде молекулярного «частокола» (рис. 5), что и изменяет свойства поверхностного слоя. Это хорошо иллюстрируется изменением закономерностей смачивания водой гидрофобной поверхности при введении в нее добавок поверхностно-активных веществ, например мыл (рис. 6). С превышением некоторой

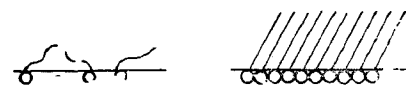
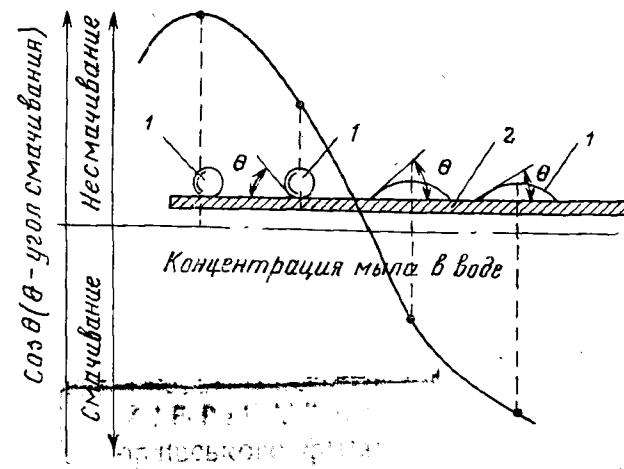


Рис. 5. Схема формирования «частокола» из молекул поверхностно-активных веществ

По мере повышения концентрации поверхностно-активных веществ они занимают все более ориентированное положение в поверхностном слое, располагаясь в виде молекулярного «частокола» (рис. 5), что и изменяет свойства поверхностного слоя. Это хорошо иллюстрируется изменением закономерностей смачивания водой гидрофобной поверхности при введении в нее добавок поверхностно-активных веществ, например мыл (рис. 6). С превышением некоторой

Рис. 6. Влияние концентрации поверхностно-активных веществ на смачивание гидрофобной поверхности:
1 — капля жидкости;
2 — гидрофобная поверхность



концентрации мыл в растворе угол смачивания резко уменьшается, что способствует растеканию раствора по поверхности, а следовательно, и ее смачиванию. Это обусловлено адсорбцией мономолекулярного слоя поверхностно-активного вещества на поверхности твердого тела.

Подбирая поверхностно-активные вещества и этим изменяя поверхностную энергию материалов, можно физико-химическим путем управлять многими технологическими процессами: изготавливать устойчивые суспензии и эмульсии и если необходимо, быстро их разрушать, пластифицировать клеи и бетонные смеси, регулировать содержание газообразной фазы в материалах, изменять крупность и форму кристаллов новообразований и др. Поверхностно-активные вещества обуславливают адсорбционное понижение прочности (эффект акад. П. А. Ребиндера) вследствие резкого уменьшения поверхностной энергии, что значительно уменьшает трение, облегчает измельчение и помол материалов, их резание, бурение, механическую обработку.

§ 4. СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Качество дорожно-строительного материала определяют степенью соответствия показателей, признаков и свойств материала условиям предполагаемой его работы в отдельных элементах дорожного сооружения в соответствии с техническими требованиями. Технические требования, предъявляемые к материалам, обуславливаются конструкцией отдельных элементов дорожных сооружений, проектируемой технологией производства, природными условиями района строительства (климатические, грунто-геологические, гидрологические) и экономичностью.

Качество дорожно-строительных материалов определяют по результатам их полевых обследований и испытаний в специальных лабораториях. Объем и содержание испытаний устанавливают в соответствии с техническими требованиями официальных документов, ГОСТами с учетом особенностей материала, его назначения и условий, в которых он будет работать.

Несмотря на достаточно разработанную методику лабораторных испытаний дорожно-строительных материалов, вследствие некоторой условности получаемых показателей они не всегда дают возможность составить исчерпывающее суждение о качестве материала и степени пригодности его для проектируемой цели. В таких случаях, помимо лабораторных характеристик, прибегают к испытанию дорожно-строительных материалов на моделях в опытных дорожках в лабораторных условиях, или на опытных участках автомобильных дорог в производственной обстановке (рис. 7).

Технические требования к каждому виду строительных материалов применительно к его использованию регламентируют Государственные общесоюзные стандарты (ГОСТы). Стандарт является государственным документом, имеющим силу закона для произ-

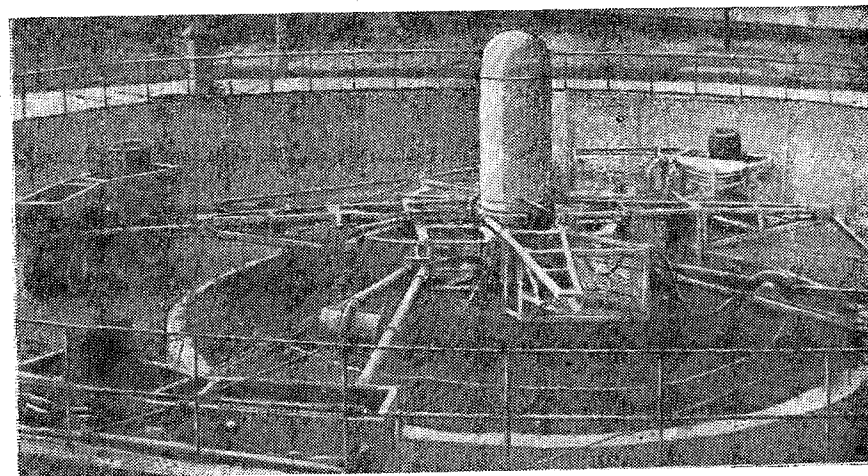


Рис. 7. Стенд для испытания дорожных одежд (Госдорнии)

водителей, потребителей и контролирующих организаций. В ГОСТе изложены основные параметры и техническая характеристика, область применения, правила приемки, транспортирования, хранения и методы испытания материала. Разработку ГОСТов производят по плану министерства и ведомства и после их рассмотрения утверждают Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства. В обозначении стандартов первое число — это порядковый номер, а второе — год утверждения. Например, ГОСТ 9129—67 «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные». По мере совершенствования технологии производства, развития научных исследований, изучения качества материалов, методов испытания стандарты периодически перерабатывают, дополняют и вновь утверждают, но уже за другим номером. Выход в свет нового стандарта отменяет действие старого.

До разработки ГОСТов на новые строительные материалы пользуются техническими условиями (ТУ). Это временные ведомственные стандарты, которые разрабатывают и утверждают министерства.

Стандартом на строительство с 1955 г. являются «Строительные нормы и правила» (СНиПы), которые содержат основные требования, правила и нормы на проектирование, производство и приемку работ. В отдельных главах излагаются, согласно соответствующим ГОСТам, сведения о строительных материалах по отдельным группам, их номенклатуре, свойствах, правилах приемки и хранения.

СНиПы разрабатывают научные и производственные организации, утверждает и издает их Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства.

Природные каменные материалы

§ 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Природные каменные строительные материалы изготавливают из скальных горных пород путем соответствующей механической переработки и обработки горной массы, предварительно отделенной от массива, при этом кускам горной породы придают необходимую форму и размеры, а некоторые штучные материалы подвергают до-полнительной обработке — теске, шлифовке, полировке.

В зависимости от назначения, а также от природных условий, в которых будет работать материал, в дорожном строительстве применяют *дробленые материалы* (щебень, высевки), *которые* (бутовый камень, шашку для мощения), *пиленные* (блоки, плиты), *штучные* разной степени обработки (брусчатку, шашку для мозаичной мостовой, бортовые и облицовочные камни, блоки).

К природным рыхлым каменным материалам относят валунный камень, гравий и песок, которые уже в природном виде могут быть использованы в строительстве. В необходимых случаях валунный камень и галечно-гравийный материал подвергают расколу, дроблению и последующему грохочению.

Скальные горные породы (как исходное сырье для производства каменных материалов) обладают уже в естественном состоянии рядом благоприятных физико-механических и технологических свойств, стоимость каменных материалов относительно невысока, вследствие чего их широко применяют в строительстве автомобильных дорог для устройства конструктивных слоев дорожных одежд, дренажных и укрепительных устройств, они входят как каменный каркас в дорожные цементно- и асфальтобетоны и др.

Природные каменные материалы, являясь продуктом механической переработки горных скальных пород, отличаются от последних формой и размерами, а также состоянием поверхности раскола отдельностей. Поэтому их свойства зависят от качества исходной горной породы и от размеров, формы кусков и характера их обработки.

§ 6. СКАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Скальные горные породы залегают в верхних слоях земной коры массивами или в виде рыхлого скопления обломков разной величины и формы. Качество горных пород для производства дорожно-строительных материалов определяется минералогическим составом, структурой, текстурой, степенью свежести, характером отдельностей, форма и размер которых в значительной мере обусловлены их генезисом и природными трещинами.

По составу скальные горные породы представляют собой агрегат одного или нескольких минералов. В первом случае горные породы носят название *простых* или *мономинеральных* и качество их

определяется свойствами минералов, составляющих породу, а также крупностью и характером сцепления, взаимного их расположения. Так, например, кварцит, состоящий из кварцевых зерен, сцементированных кристаллическим кремнеземом, обладает свойствами, близкими кварцу: большой прочностью и хрупкостью, устойчивостью против химического выветривания, гладким раковистым изломом с острыми режущими ребрами.

Породы, состоящие из нескольких минералов, называют *сложными* или *полиминеральными*. Свойства этих горных пород зависят от сложного сочетания свойств минералов, составляющих горную породу, количественного их соотношения, крупности, взаимного расположения и сцепления. Если, например, рассмотреть несколько разновидностей гранитов, состоящих из ортоклаза, слюды и кварца, то наибольшей прочностью, устойчивостью и твердостью будет обладать та разновидность, в состав которой входит больше кварца, которая состоит из мелких кристаллов, равномерно распределенных и непосредственно спаянных между собой.

Помимо минералогического состава, качество горных пород определяется крупностью зерен минералов и характером их расположения, сцеплением, наличием пор, микротрещин и др.

Структура (строение) горной породы определяется размером и формой кристаллов (или зерен), их сочетанием и размещением между собой. Различают такие виды структуры: кристаллическую пегматитовую, порфиоровую, стекловатую, зернистую и др. (рис. 8). Структура является результатом процессов кристаллизации магматических или цементации осадочных пород и реже следствием позднейшей метаморфизации их. Поэтому породы одинакового минералогического состава могут иметь разную структуру, а следовательно, различные свойства: например, гранит и кварцевый порфир обладают одинаковым минералогическим составом, но разной структурой, и, наоборот, породы различного состава могут обладать одинаковой структурой, например гранит, сиенит и диорит имеют разный минералогический состав, но одинаковую кристаллическую структуру. По крупности составляющих породу минералов различают разновидности структур, приведенные в табл. 2.

Однородная мелкокристаллическая (или мелкозернистая) структура служит признаком более высокой прочности и стойкости против выветривания, хорошей колкости и полируемости по срав-

Таблица 2

Разновидности структур	Крупность минералов, мм		Разновидности структур	Крупность минералов, мм	
	Изверженные породы	Осадочные породы		Изверженные породы	Осадочные породы
Мелкозернистая	2—3	0,75	Крупнозернистая	5—10	1,50—3,00
Среднезернистая	3—5	0,75—1,50	Грубозернистая	>10	3,00—5,00

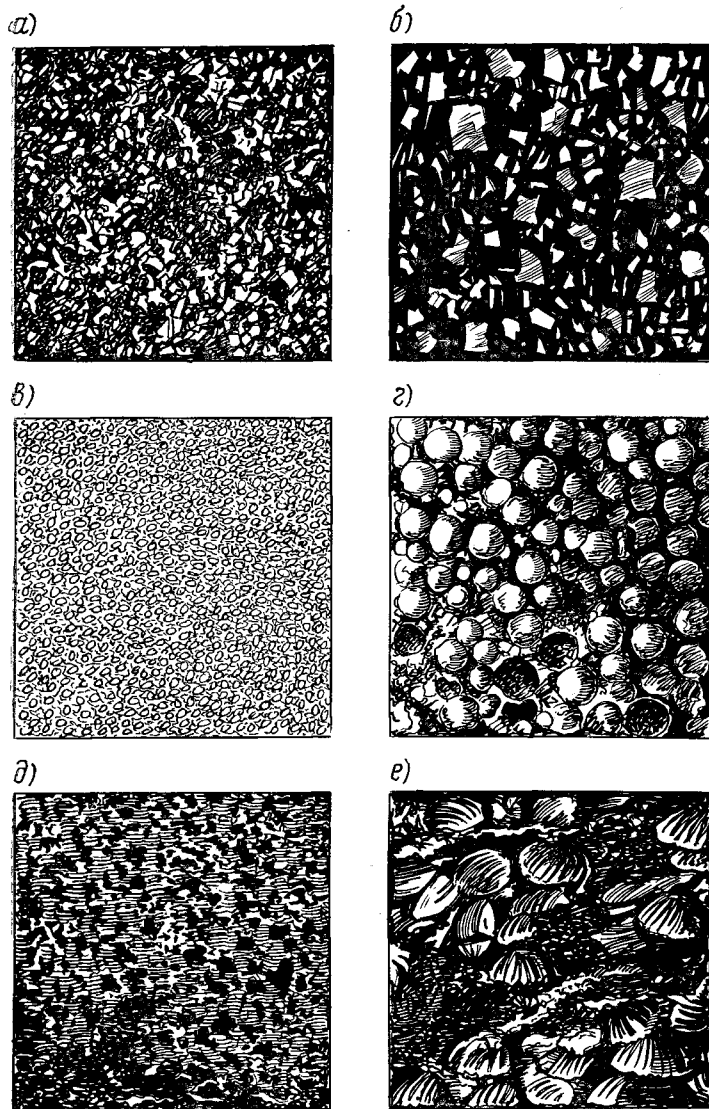


Рис. 8. Разновидности структур горных пород:
а — кристаллическая; б — порфировая; в — зернистая; г — оолитовая; д — скрытокристаллическая; е — ракушечная

нению с крупнозернистыми и грубозернистыми разновидностями горных пород. Стекловатая структура без явных кристаллических образований, характерная для некоторых эффузивных пород кислой магмы, определяет хрупкость породы, стекловатые разновидности которой дают при ударе неправильный раскол с гладкой поверхностью и режущими острыми ребрами (рис. 9). Породы со

скрытокристаллической структурой отличаются большой прочностью и погодоустойчивостью. Хорошо выраженная макропорфировая структура придает породе красивый рисунок; породы с порфировой и порфировидной структурой по сравнению с равномерно кристаллическими разновидностями относительно менее стойки против выветривания.

Оолитовая структура служит признаком пониженной прочности и погодоустойчивости.

Текстура (сложение) характеризует взаимное расположение составляющих породу минералов и наличие пор и микротрещин. Текстура может быть: плотная, полосчатая, сланцеватая, пористая, ячеистая и др. (рис. 10).

Породы с плотной текстурой более прочны и устойчивы, более теплопроводны, они лучше полируются, чем пористые разновидности. С увеличением пористости (ноздреватости, ячеистости) понижается прочность и стойкость против выветривания. Сланцеватые и тонкослоистые породы анизотропны, они сравнительно менее погодоустойчивы, а при ударах обладают тенденцией раскалываться по направлению сланцеватости (рис. 11).

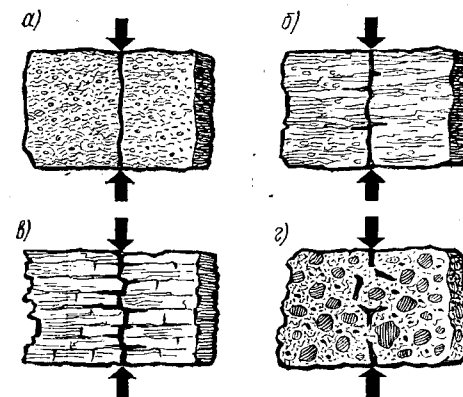


Рис. 9. Характер раскола в зависимости от структуры горных пород:
а — плотная; б — слоистая; в — сланцеватая; г — кавернозная

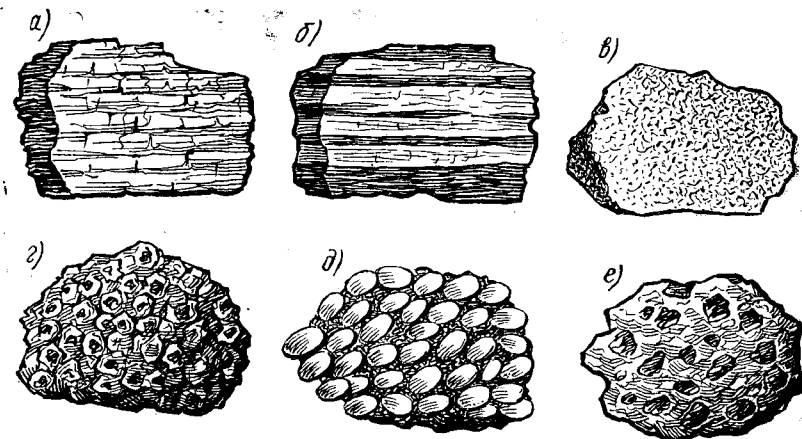


Рис. 10. Разновидности текстур горных пород:
а — сланцеватая; б — ленточная; в — землистая; г — пемзобидная; д — ракушечная; е — кавернозная

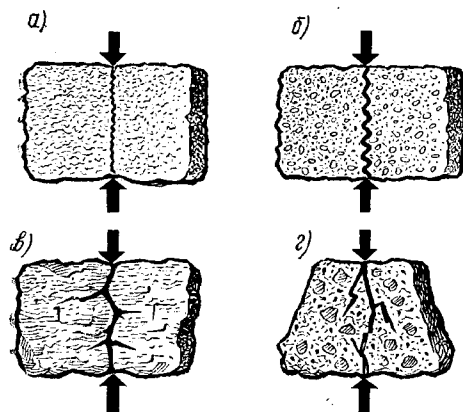


Рис. 11. Характер раскола в зависимости от текстуры горных пород:

а — мелкокристаллическая; б — крупнокристаллическая; в — пегматитовая; г — стекловатая

Под влиянием различных геологических процессов, а в верхних слоях и атмосферных факторов, горные породы покрываются *трещинами* разного направления и размеров, явными и скрытыми.

Трещинами горная порода разбивается на глыбы (отдельности) разной величины и формы, что определяет возможность получения монолитов камня разной формы и размеров, а также определяет порядок и способы разработки породы в месторождении.

Различают следующие виды отдельностей: *плитообразная* или *пластообразная* (рис. 12), когда порода разбивается трещинами на плиты различной толщины; *пластовая* образуется параллельными трещинами (рис. 13), разбивающими породу на пластообразные части. Этот вид отдельностей присущ преимущественно осадочным

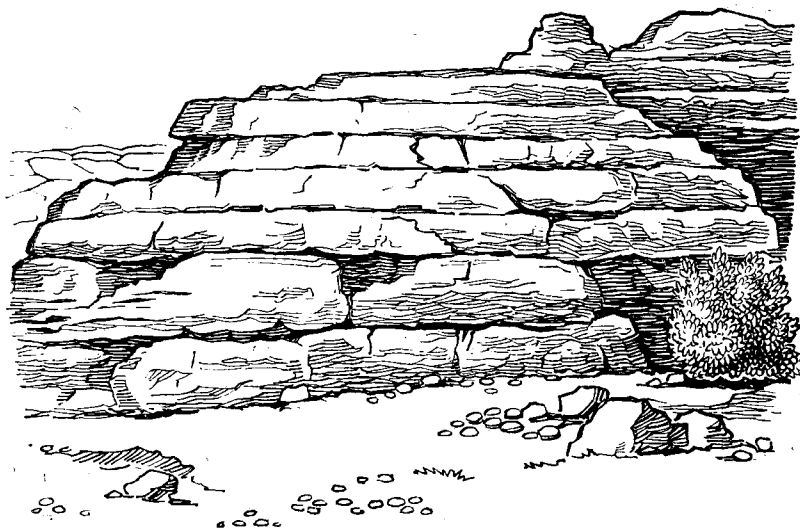


Рис. 12. Плистообразная форма залегания песчаника

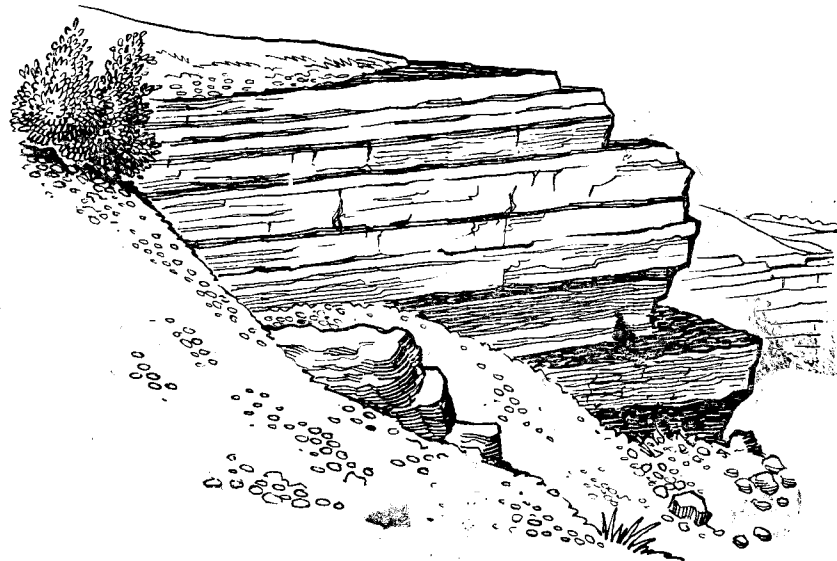


Рис. 13. Пластовая форма залегания гранодиорита

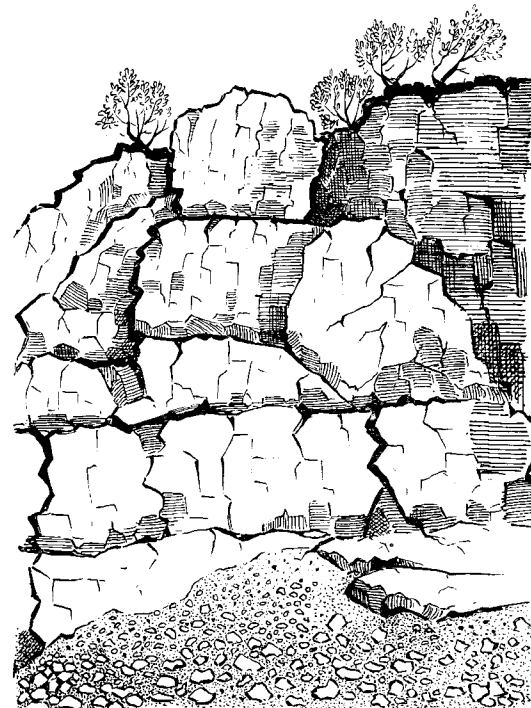


Рис. 14. Кубовидная форма залегания гранита

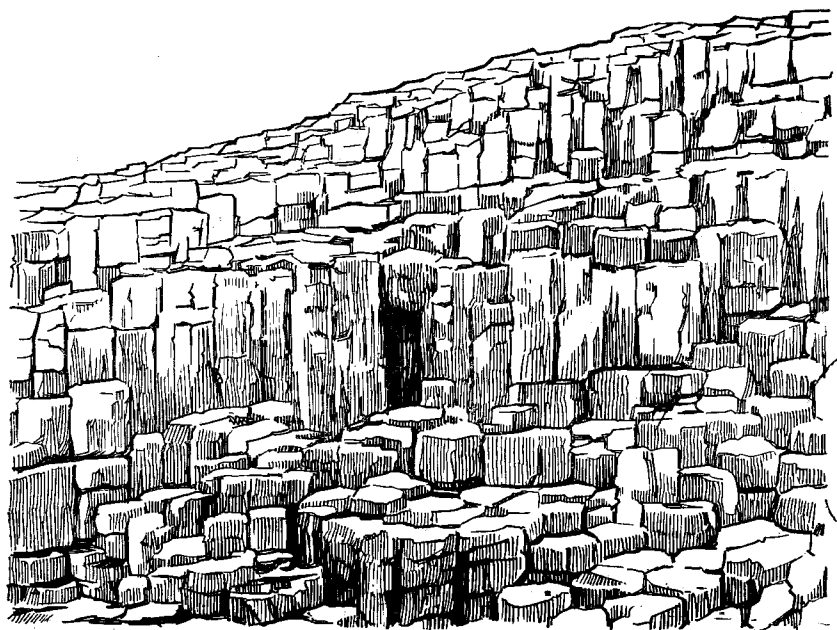


Рис. 15. Столбчатая форма залегания базальта

породам. *Параллелепипедальная и кубовидная* отдельности (рис. 14) ограничиваются взаимно перпендикулярными трещинами, проходящими примерно на одинаковом расстоянии; наличие этих отдельностей облегчает получение наряду с дробленным материалом штучного камня. *Полиэдрическая система* (или *неправильная многогранная*) ограничивается трещинами, идущими в разных направлениях, разбивающими породу на неправильные куски. Такого рода отдельности позволяют получить бутовый камень, щебень, шашку для мощения. *Столбчатая, или призматическая* отдельность (рис. 15) получается в том случае, когда порода разбивается трещинами, образующими вытянутые отдельности в виде многогранных столбиков (например, у некоторых разновидностей базальтов). Этот вид отдельностей облегчает выломку столбов и последующую их разделку. *Шаровая, или сфероидальная* отдельность получается в результате распада на неправильные шарообразные отдельности и сопровождается концентрически скорлуповатой макроструктурой. Шаровидные отдельности затрудняют разделку породы на части требуемой формы и размера (рис. 16).

Условия образования (генезис) горных пород определяют их состав, строение и характер залегания, а следовательно, и свойства.

Многообразные горные породы, слагающие земную кору, по генезису (происхождению) делят на три обширные группы: *изверженные, осадочные и метаморфические*.

Изверженные горные породы образовались в результате застывания магмы в глубоких слоях земной коры. Крайне разнообразные условия, при которых происходит формирование изверженных (магматических) горных пород, обуславливают образование пород разного минералогического состава, строения и сложения, а следовательно, и технических свойств.

Поднимаясь по трещинам в земной коре, магма вследствие понижения температуры и давления постепенно застывает на глубине или значительно быстрее на поверхности, образуя *изверженные глубинные и излившиеся* горные породы.

От быстроты охлаждения зависит и форма минералообразования: в условиях медленной кристаллизации образуются крупные минералы, а в условиях быстрой — формируются преимущественно мелкие кристаллы.

При очень быстром охлаждении образуются аморфные и стекловатые породы. Неравномерное охлаждение магмы приводит к образованию призматических, шаровых, столбчатых и других форм отдельностей.

Газообразные продукты выделяются из вязкой магмы медленно, вследствие чего образуются породы пористой, ноздреватой, пемзовидной текстуры.

Осадочные горные породы образовались путем осаждения минеральных веществ преимущественно из водной среды. Осаждение происходило периодами послойно в виде отдельных слоев и пластов, поэтому осадочные породы иногда называют также *слоистыми* или *пластовыми* породами.

По характеру образования и по составу их делят, в свою очередь, на три группы: механические отложения, химические осадки и органические образования.

Механические (или обломочные) горные породы представляют собой продукт накопления рыхлых продуктов главным образом механического разрушения прежде существовавших горных пород. Они могут быть в виде рыхлого скопления обломков разной величины и формы (валуны, галька, гравий, хрящ, песок и др.). Эти *рыхлые* горные породы могут быть в последующем уплотнены и сцементированы природными веществами, например, глинистыми, железистыми соединениями, углекислыми солями, в результате чего образуются конгломераты, брекчии, песчаники.

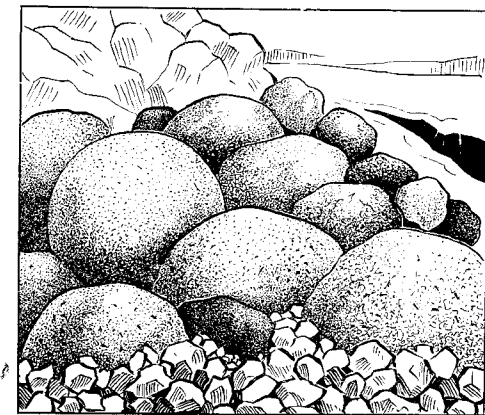


Рис. 16. Шаровидная форма залегания габбро

Химические осадки образовались путем осаждения минеральных веществ из водных растворов с последующим их уплотнением и цементацией (некоторые известняки и туфы, гипс, ангидрит).

Органогенные образования являются продуктом отложения остатков различных отмерших организмов с последующим уплотнением и цементацией (большинство известняков, доломиты, опоки, диатомиты и др.).

Если у изверженных горных пород составляющие их минералы непосредственно спаяны между собой и эта связь образуется в процессе формирования породы, то образование сцементированных осадочных горных пород происходит путем цементации зерен скелета каким-либо природным веществом и является процессом вторичным и довольно длительным. Вначале рыхлое скопление зерен постепенно пропитывается растворами природного цементирующего вещества и по мере уплотнения и кристаллизации последнего происходит цементация осадков. Природные цементирующие вещества — кремнистые, глинистые, железистые — часто в коллоидном состоянии неравномерно обволакивают зерно скелета, медленно заполняя в нем пустоты. По мере формирования коллоидных микросвязей происходит постепенное их уплотнение, а затем кристаллизация, при этом объем цементирующего вещества уменьшается. Уменьшение объема цементирующих веществ и неравномерное их распределение в пустотах служат причиной образования первичных пор, пустот и микротрещин в осадочных горных породах.

Мелкозернистые осадочные горные породы, сцементированные кремнистым, железистым и другими веществами, часто при попеременном высыхании и увлажнении растрескиваются на неправильные остроугольные обломки. Это объясняется неравномерным изменением объема коллоидных веществ при колебании влажности, что вызывает местные напряжения и приводит к появлению трещин. Минералогический состав большинства осадочных горных пород проще по сравнению с изверженными. Первичными минералами, составляющими осадочные горные породы, являются кварц, кальцит, магнезит, гипс, доломит, каолинит и др.

Метаморфические горные породы образовались в результате более или менее глубокого изменения (метаморфизма) магматических или осадочных горных пород под влиянием высокой температуры и давления, а иногда и химических воздействий. Метаморфизм выражается в изменении структуры, текстуры, а иногда минералогического состава породы. Главнейшими представителями метаморфических горных пород являются кварцит, мрамор и обширная группа кристаллических сланцев.

§ 7. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛАВНЕЙШИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Изверженные горные породы. По химическому составу изверженные горные породы характеризуются содержанием главным образом, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия и натрия. По содержанию кремнезема в свободном и химически свя-

занном состоянии эти породы делятся на кислые, которые содержат кремнезема SiO_2 85—65%, *средние* — 65—52% и *основные* — 52—35%.

Кислые породы богаты кварцем, калием, натрием и бедны железом, магнием и кальцием; они отличаются обычно светлой окраской. Основные породы, наоборот, содержат много железа, магния и кальция и окрашены преимущественно в темный цвет.

Каменные строительные материалы, получаемые из плотных кристаллических изверженных горных пород, в преобладающем большинстве отличаются большой прочностью, твердостью, вязкостью, погодоустойчивостью, хорошей обрабатываемостью. Так, граниты, сиениты, порфиры и диабазы обладают прочностью более 1200 кгс/см², пористостью 0,2—0,7%, водопоглощением 0,1—0,5%, морозостойкостью и износостойкостью. Следует указать на следующую закономерность в технических свойствах изверженных горных пород в соответствии с их минералогическим составом и структурой: по мере увеличения содержания пироксенов, амфиболов и оливина (от гранита до пироксенита) возрастает вязкость (сопротивление ударной нагрузке), плотность и объемная масса, прочность и полируемость.

Неравномерная крупнокристаллическая стекловатая и макропорфировая структура, присутствие неустойчивых минералов, значительное содержание слюды обуславливают в разной мере снижение прочности и погодоустойчивости горных пород.

Изверженные глубинные горные породы. *Гранит* — наиболее распространенная глубинная магматическая горная порода. Гранит представляет собой массивную равномерно зернисто-кристаллическую породу, состоящую в основном из кварца (20—40%), ортоклаза, реже щелочного плагиоклаза (40—80%), слюды, иногда роговой обманки и агвита (5—20%). Кроме равномерно кристаллической структуры, отдельные переходные разновидности гранита обладают порфировидной структурой, в которой более крупные кристаллы, например ортоклаз, вкраплены на общем равномерном мелкокристаллическом фоне. К этой разновидности относится финляндский гранит — рапакиви (по-фински — гнилой, крошащийся камень), широко распространенный в Карелии, Финляндии. Характерным признаком рапакиви служит яйцевидная форма кристаллов ортоклаза (микроклина) розового и красного цвета, окруженного зеленоватой или серой тонкой каемкой олигоклаза (из группы плагиоклазов).

Рапакиви сравнительно с другими разновидностями гранитов легче выветривается вследствие разрушения олигоклаза и выпадения кристаллов микроклина.

Граниты обладают плотным сложением. Если же пластинчатые минералы (например, слюды) имеют тенденцию располагаться параллельно какой-либо плоскости, такие породы являются промежуточными формами между гранитами и гнейсами и носят название гнейсовых гранитов, а при более выраженной сланцеватости — гранито-гнейсов.

Цвет гранитов зависит главным образом от ортоклаза и содержания темноцветных минералов; обычно преобладают серые и красные цвета разных оттенков. Очень красивым рисунком обладают гранатовые граниты и разновидности серых гранитов с кварцем синих тонов (например, граниты некоторых месторождений по рекам Южный Буг и Рось).

Однородность строения гранитов в месторождениях часто нарушается наличием ксенолитов и шлиров¹ (в областях контакта с другими породами) и жилами, выполненными гранитной магмой. Мелкозернистая жильная порода, состоящая из ортоклаза (или плагиоклаза), кварца и слюды обычно светлого цвета, носит название *аплита*. Крупнокристаллические жильные породы, состоящие из неодинаковых по размеру преимущественно крупных минералов полевого шпата, кварца с большим или меньшим количеством слюды, роговой обманки и авгита, неравномерно распределенных в массе, называют *пегматитами*. Аплитовые и пегматитовые жилы, пересекая главную породу в разных направлениях, придают разнообразие по свойствам каменному материалу.

Гранитам свойственна параллелепипедальная, грубопластовая и реже матрацевидная форма залегания. Трещины и жильные породы в гранитных массивах хотя и бывают крайне разнообразны, все же часто располагаются, закономерно ориентируясь относительно дислокационного давления.

Граниты характеризуются средним значением плотности 2,7, объемной массы 2,6, весьма малой водонасыщаемостью, большой прочностью (1200—2000 кгс/см²) и погодоустойчивостью. Прочность отдельных мелкозернистых разновидностей гранитов достигает 3000 кгс/см² (например, Гниванское месторождение УССР). Для суждения о прочности гранитов приведем показатели прочности при сжатии (кгс/см²) для некоторых их разновидностей:

Карельский гранит рапакиви	800—2500
Гниванский мелкозернистый	1200—3100
Уральский среднезернистый	1000—2000
Среднеазиатский (район Ташкента)	1000—2500

Из гранитов можно изготовить все виды каменных материалов — рваные, колотые, дробленые, тесаные и полированные. Красивая окраска некоторых разновидностей гранитов дает возможность использовать их для отделочных работ. Граниты не огнестойки, они утрачивают прочность при температуре свыше 800°С.

Граниты — распространенная порода. На территории СССР известны следующие обширные области распространения гранитов: Карелия, Кольский п-ов, Украина, северные склоны Кавказа, Урал, Алтай, Тянь-Шань, Саяны, Прибайкалье, Яблоновый хребет, район р. Уссури и др.

Сиениты по минералогическому составу отличаются от гранитов отсутствием кварца (или небольшим содержанием его) и преобладанием щелочного полевого шпата. Сиениты, содержащие заметное количество кварца, являются переходными породами между сиенитами и гранитами.

Структура сиенитов обычно равномерно кристаллическая, но встречаются и порфировидные разновидности. Окраска сиенитов чаще бывает серая, красноватая, темно-зеленоватая. Плотность их — 2,7—2,9, объемная масса 2,6—2,8, пористость и водонасыщение у них незначительны. Прочность при сжатии у сиенитов колеблется в пределах 1200—1500 кгс/см². По сравнению с гранитами они несколько мягче, лучше полируются и более вязки, в особенности если в их составе имеются амфиболы и пироксены.

Применение сиенитов то же, что и гранитов. На территории СССР сиениты распространены более ограниченно. Известны месторождения сиенитов на Кольском п-ове, Украине, Сахалине, в горах Тянь-Шаня и др.

Диориты состоят из кислого плагиоклаза (около 75%), роговой обманки, реже биотита и авгита. Иногда в состав диорита входит кварц, такой диорит носит название кварцевого. В зависимости от преобладания цветных минералов различают роговообманковый, авгитовый, биотитовый диориты. Структура у них равномерно кристаллическая; окраска преобладает от темно-зеленоватой до черно-зеленой. Плотность 2,7—3,0, прочность при сжатии, достигая 1800—3400 кгс/см², в среднем выше, чем у гранитов и сиенитов; они отличаются повышенной вязкостью и устойчивостью против выветривания.

Диориты, наравне с гранитами и сиенитами, пригодны для производства различных видов каменной продукции и в особенности штучных материалов. Месторождения диоритов известны в Крыму, на Украине, Урале, Кавказе, в Средней Азии и др.

Габбро — горные породы, состоящие в основном из плагиоклаза (около 50%) и пироксена; реже в состав габбро входят роговая обманка, оливин и биотит. Структура габбро обычно равномерно крупнокристаллическая. Окраска темно-зеленая, оливково-зеленая и коричнево-зеленоватая. Плотность 2,8—3,1. Прочность при сжатии в среднем 2000—2800 кгс/см², но у крупнозернистых разновидностей уменьшается до 1000 кгс/см². Габбро — стойкая порода против выветривания; чем меньше в ней полевого шпата и чем равномернее и мельче структура, тем выше ее погодоустойчивость. Габбро благодаря высокой прочности обладает большой вязкостью, что несколько затрудняет разработку.

Полируется габбро хорошо. Особенно красивой расцветкой обладает лабрадорит, в котором преобладает минерал плагиоклаз-лабрадор. Наряду с другими изверженными породами габбро находит применение в дорожном строительстве для получения различных строительных материалов. Лабрадориты с красивой окраской используются для декоративных целей.

¹ Ксенолиты — включения обломков более древних боковых пород в области контакта в интрузивную породу. Шлиры — ксенолиты, переплавленные и не имеющие резких границ с включающей их интрузивной породой.

Габбровые породы, образуя штоки, линзы и жилы, ограниченно распространены в Карелии, на Урале, Украине, Кавказе, в Средней Азии. Большой известностью пользуется месторождение габбро-лабрадора на Волыни у деревень Головино и Слипчинцы, где породу добывают главным образом для различных декоративных целей.

Различные условия застывания одной и той же по химическому составу магмы (по сравнению с глубинными породами) обуславливают формирование порфировой, фельзитовой, микролитовой и стекловатой структур¹.

Древневулканические излившиеся породы характеризуются большей перекристаллизованностью основной массы. Нововулканические породы сформировались позже и содержат больше стекловатой фазы.

Кварцевый порфир обладает порфировой структурой с вкраплением в основную массу как бы оплавленных кристаллов кварца; по минералогическому составу он аналогичен гранитам. Цвет чаще красный, бурый, а иногда зеленоватый. Плотность 2,4—2,6; прочность при сжатии 1300—1800 кгс/см², погодоустойчив. Качество кварцевых порфиров для производства дорожных каменных материалов повышается с уменьшением количества и размеров вкрапленников. Чем больше стекловатой массы, тем больше хрупкость кварцевого порфира. Лучшие его разновидности относятся к фельзитовым порфирам, содержащим незначительное количество вкрапленников.

Каменные материалы из кварцевых порфиров применяют в дорожном строительстве в виде щебня, бута, колотой и тесаной шашки, для декоративных целей и др. Месторождения кварцевых порфиров в СССР известны в Крыму, на Урале, Алтае, Сахалине и др.

Липариты — нововулканические породы, аналогичные по составу граниту. Цвет белый, серый, светло-желтый, а иногда красноватый. Структура липаритов часто микропорфировая с повышенным содержанием стекловатой фазы. Наряду с плотными встречаются пористые его разновидности.

Каменные материалы из плотных, скрытокристаллических липаритов применяют для работ наравне с материалами из кварцевых порфиров.

Ортоклазовые порфиры и трахиты по минералогическому составу аналогичны сиенитам. От кварцевых порфиров и липаритов они отличаются отсутствием кварца. По техническим свойствам эти породы стоят ближе к бескварцевым порфирам и липаритам, но более легко поддаются обработке. Месторождения ортоклазовых порфиров известны на Кавказе, Урале, в Крыму и других местах.

Диабазы — преимущественно мелкокристаллические, состоят из известково-натрового полевого шпата и авгита, реже в состав их

входят оливин, роговая обманка и др. Характерной особенностью диабазов является переплетенное строение, заключающееся в том, что промежутки между беспорядочно переплетенными кристаллами известково-натровых полевых шпатов заполнены темной аморфной авгитовой массой. Плотность диабазов 2,8—3,0, прочность при сжатии в среднем около 2000 кгс/см² (иногда до 4000 кгс/см²); они хорошо полируются. При выветривании диабаз приобретает бурую окраску и распадается на щебень ржавого цвета, обогащенный глинистым веществом.

Особенности строения диабазов позволяют изготавливать из него хороший штучный камень — разнообразные плиты, брусчатку, шашку и др. Щебень из диабазов обладает высокими качествами для приготовления асфальтобетонов и черного щебня. Аналогичны диабазам по техническим свойствам промежуточные породы — габбро-диабазы. Известны месторождения диабазов в Карелии, на Украине, Кавказе, Урале и др.

Андезиты относятся к группе нововулканических пород; они состоят из роговой обманки или пироксенов, слюды и известково-натровых плагиоклазов, которые обычно являются вкрапленниками. Андезиты обладают окраской от светлой до темно-серой. Плотность их колеблется в пределах 2,65—2,75; они прочны (1200—2400 кгс/см²), тверды, хорошо поддаются расколу, погодоустойчивы.

Базальты — породы темного цвета, плотные, обычно скрытокристаллической структуры, состоящие из плагиоклаза и авгита (часто оливина). Обычно в базальтах не все минералы успели выкристаллизоваться, вследствие чего порода содержит то или иное количество стекловатой фазы.

Технические свойства базальтов крайне различны, плотность их равна 2,7—3,3; они тверды и обладают высокой прочностью, достигающей 3000, а иногда и 5000 кгс/см²; относительная хрупкость базальтов несколько снижает их общие довольно высокие технические свойства.

Базальты в месторождениях часто разбиты трещинами на столбчатые (иногда шаровидные и плитняковые) отдельности, что в значительной мере облегчает их разработку. По внешним признакам хорошее качество базальтов определяется темной окраской, равномерным мелкокристаллическим строением; основная масса и несущественные минералы должны с трудом царапаться стальной иглой. Месторождения базальтов в СССР известны на Украине, в Армении, Забайкалье, на Сахалине и Камчатке. Столбчатые отдельности базальтов облегчают разработку месторождений, вместе с тем ограничивают возможность изготовления из них крупных монолитов. В дорожных работах базальты используются для изготовления шашки, брусчатки, щебня и пр.

Щебень из базальтов со значительным содержанием скрытокристаллической и стекловатой массы обладает пониженным качеством и плохо поддается укатке в щебеночных слоях.

Осадочные горные породы. Верхние слои земной коры состоят из осадочных пород, которые покрывают изверженные горные

¹ Переходные формы структуры от полнокристаллической до стекловатой. Фельзиты — тесная смесь микрокристаллов со стеклом; микролиты — мельчайшие кристаллики, видимые только в микроскоп.

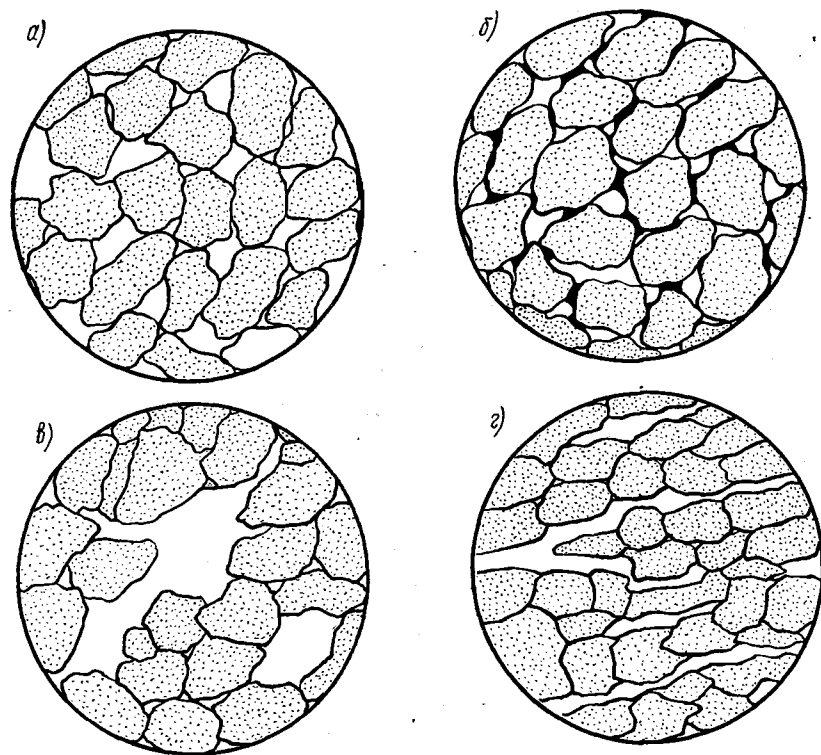


Рис. 17. Разновидности пористости песчаников:
а — крупнопористая; б — мелкопористая; в — крупнощелевая; г — микрощелевая

породы прерывистой толщей, достигающей иногда значительной мощности.

Что касается территории СССР, то она на 75—80% расположена в области развития осадочных горных пород.

Осадочные горные породы образовались путем накопления минеральных веществ главным образом из водной среды. Каменные материалы из осадочных горных пород характеризуются крайне разнообразными техническими свойствами, что объясняется условиями образования пород; перерывы в отложении осадков, а также разная их крупность, принос извне различных примесей, разная степень уплотнения и цементации, а также разный состав природного цемента. Для осадочных горных пород характерной особенностью в отличие от изверженных пород является пластовая форма залегания, их слоистость, пористость (рис. 17). С течением времени осадочные горные породы претерпевают ряд физико-химических изменений, которые постепенно приводят к уменьшению пористости, а в ряде случаев к исчезновению внешних признаков слоистости, которая обнаруживается только при выветривании и при их переработке.

Из сцементированных осадочных пород рассмотрим только песчанники, известняки и доломиты.

Песчанники представляют собой породы, состоящие из мелких зерен (мельче 5 мм) минералов, связанных природным цементом в более или менее плотную массу. По минералогическому составу зерна песчанника обычно состоят из кварца, который, как известно, наиболее устойчив против выветривания. Сравнительно редко встречаются песчанники, состоящие из сцементированных обломков полевых шпатов (так называемые *аркозовые песчанники*) и из смеси обломков кварца, полевого шпата, слюд (*серая вакка*). В песчанниках, кроме породообразующего минерала, имеются примеси и других минералов — окислов, силикатов и др. Цвет песчанников крайне разнообразен и бывает от белого до темно-серого, от розового до красно-бурого, что зависит от окраски скелетных частиц, но главным образом от цементирующего вещества и примесей.

В качестве цемента могут быть кремнистые, известковые, железистые, гипсовые и другие природные вещества.

Если цементирующее вещество заполняет полностью промежутки между зернами, то такой цемент является *основным*. В том же случае, если цементирующее вещество обволакивает зерно, заполняя тем самым только часть пустот, цемент носит название *оболочного*. Наконец, свободные пространства в порах могут быть заполнены вторичным цементирующим веществом других свойств, чем оболочный цемент.

В зависимости от цементирующего вещества и примесей различают песчанники: глинистый, кремнистый, железистый, известковый (карбонатный), гипсовый, глауконитовый, битуминозный и др.

Наибольшей прочностью, твердостью и устойчивостью против выветривания отличаются плотные, мелкозернистые, кремнистые песчанники. Однако они плохо поддаются обработке, дают обычно неправильный раковистый раскол с острым режущим ребром и отличаются хрупкостью. Гладкая поверхность раскола, сравнительно легкая обламываемость ребер при укатке определяют низкое качество щебня.

Раковистый излом служит признаком однородного тонкокристаллического строения, где отдельные зерна прочно связаны между собой. При воздействии внешних механических усилий на такого рода горные породы составляющие их зерна не раскалываются и не образуют плоскостей скольжения (как, например, у гранитов, крупнозернистых песчанников и др.), а начинают деформироваться по цементу от отдельных центров.

Наиболее рельефно эти свойства выступают у сливных кварцитовидных песчанников. Известковые и в меньшей мере доломитовые песчанники сравнительно менее устойчивы против выветривания. Обладая сравнительно большой прочностью, они легче поддаются обработке. Глауконитовые, а в особенности глинистые песчанники наименее устойчивы против выветривания и при увлажнении вследствие поглощения воды и размягчения цемента резко снижают проч-

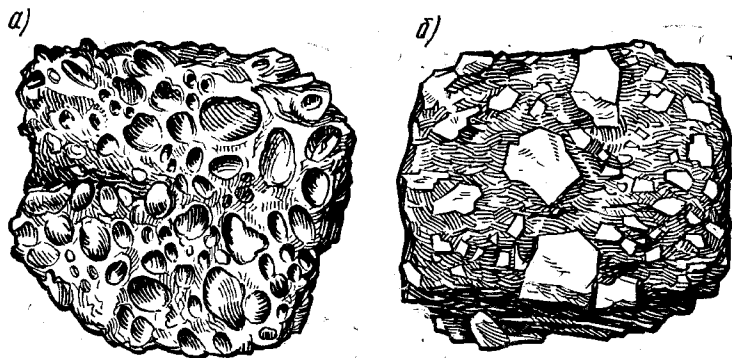


Рис. 18. Конгломераты и брекчии:
а — конгломерат; б — брекчия

ность. К породам невысокого качества следует отнести и слюдистые песчаники, которые содержат заметную примесь слюды.

Песчаники, обладая разнообразными техническими свойствами, находят применение в дорожно-мостовом строительстве в основном как местные материалы в виде бута, колотой шашки, щебня и резе штучного камня. Плитчатые песчаники используются в виде плит для устройства полов, тротуаров и пр. Крупнейшие месторождения кварцитовидных плотных песчаников разной окраски известны в окрестностях г. Коростеня. Эти песчаники вследствие высокой прочности и погодоустойчивости, однородности строения, красивой расцветки в отдельных случаях в полированном виде используются в строительстве для декоративных целей.

Из крупных разрабатываемых месторождений песчаников можно назвать онежские песчаники, карьеры в районе г. Тулы, Путиловские, Рыльские, Судженские, Шостка (Сумской обл.), Еленовские (Донбасс), Вольские, Уральские (Пермские, Златоустовские, Свердловские и др.), Шахтинские и многие другие.

Конгломераты и брекчии. Порода, состоящую из округлых обломков минералов и горных пород размером больше 5 мм, сцементированных каким-либо природным веществом (известковым, доломитовым, глинистым, мергелистым, кремнистым и др.), называют *конгломератом* (рис. 18). Аналогичная порода, но состоящая из угловатых обломков горных пород, носит название *брекчии*¹. Скелет конгломератов и брекчий составляют чаще прочные, устойчивые против выветривания породы (кварцит, граниты и др.), иногда встречаются породы, состоящие из обломков плотных известняков, доломитов, змеевиков.

Качество конгломератов и брекчий зависит от минералогического состава, крупности и формы обломков, состава и степени уплотненности цементирующего вещества. Лучшими свойствами для строи-

тельных целей отличаются породы, состоящие из прочных угловатых обломков, сравнительно небольших по размеру и имеющих малую пустотность, связанных прочным, устойчивым цементом.

Крупные месторождения конгломератов, брекчий и переходных между ними пород известны в районе Симферополя, на Северном Кавказе, в Средней Азии и др.

Опока представляет собой тонкопористую горную породу, состоящую из сцементированного аморфного кремнезема, кристаллического кварца, кальцита, магнезита, органических веществ и др. По цвету опоки бывают от темно-серого до светло-желтого. Излом гладкий, раковистый; объемная масса 1,2—1,5, редко 1,8, пористость 30—40%; прочность при сжатии 100—300 кгс/см². Опоки, как правило, неморозостойки и вследствие наличия коллоидного кремнистого цемента они, находясь на воздухе, самопроизвольно растрескиваются, превращаясь в мелкий угловатый щебень. Опоки обладают гидравлическими свойствами и являются ценным материалом как активная добавка к цементам и, в частности, для приготовления известково-пуццолановых цементов (см. раздел «Минеральные вяжущие материалы»).

Опоки залегают самостоятельными толщами, причем часто им сопутствуют опоконидные, глауконитовые и другие песчаники и мергели, или они сопровождают залежи диатомитов и трепелов. Крупнейшие месторождения опок известны в бассейне среднего и нижнего течения Волги, на восточных склонах Урала и др.

Известняки представляют собой сцементированные горные породы, состоящие главным образом из углекислого кальция. В основном известняки морского происхождения (уплотненные и сцементированные остатки отмерших растительных и простейших животных организмов и лишь небольшая часть известняков образовалась в результате отложения углекислого кальция горячих источников (*известняковые туфы*)).

По структуре и текстуре различают следующие разновидности известняков: плотные, кристаллические, мраморовидные, пористые, оолитовые, ракушечниковые, туфовые и землистые (*мел*).

Кроме углекислого кальция (кристаллического, зернистого и землистого строения), известняки обычно содержат незначительную примесь магнезита, а иногда кварца, глинистых, органических, железистых и других соединений. Под действием раствора соляной кислоты углекислый кальций разлагается с выделением CO₂ (так называемое «вскипание» известняков), оставляя в осадке примеси. Этим способом обычно пользуются для определения известняковых пород, а также для определения количества примесей в них.

В зависимости от состава различают известняки доломитизированные (заметная примесь магнезита), глинистые (мергелистые), кремнистые, глауконитовые, железистые, битуминозные и др. Цвет известняков в зависимости от примесей бывает белый, красноватый, зеленоватый, желтый, серый разных оттенков.

Технические свойства известняков разнообразны и зависят от состава, структуры и текстуры. Однородные, плотные скрытокри-

¹ Наряду с брекчиями, сцементированными вторичным гидрохимическим веществом, встречаются брекчии, связанные изверженным материалом, а также туфовые брекчии.

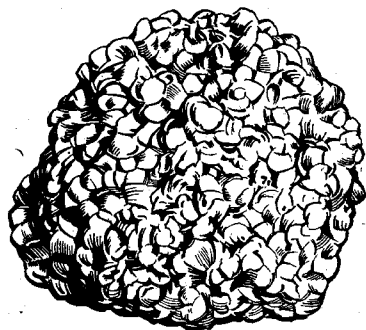


Рис. 19. Ракушечный слабосцементированный известняк

сталлические известняки, зерна которых сцементированы кальцитом, отличаются высокой прочностью (в среднем до 1200 кгс/см²), хорошей обрабатываемостью и сравнительно небольшой истираемостью. Дополнительный кремнистый цемент повышает прочность до 1500 кгс/см² (и больше), но увеличивает хрупкость, твердость и обуславливает гладкий, раковистый раскол. Примесь же глинистого вещества заметно снижает качество известняка как строительного каменного материала.

Мраморовидные известняки состоят из зерен кальцита, тесно связанных между собой небольшим количеством карбонатного цемента, а иногда и примесей. Прочность при сжатии их колеблется в пределах 900—1500 кгс/см². Близки к ним по качеству мраморовидные доломитизированные известняки.

Оолитовые известняки сложены из шарообразных зернышек углекислого кальция, сцементированных тем же известковым цементом. Иногда зернышки располагаются неравномерно участками на общем фоне, состоящем из цементирующего вещества. Величина зерен обычно от 1 до 5 мм, строение их радиально-лучистое или скорлуповатое. Эти известняки отличаются значительной пористостью, малой прочностью и твердостью, слабой погодоустойчивостью.

Известняки-ракушечники состоят из известняковых ракушек различных моллюсков, по названию которых и дают наименования отдельным их разновидностям. Ракушки разного строения и величины сцементированы известковым цементом с большим или меньшим количеством разных примесей (глинистых, органических веществ, кварца). Ракушечники (рис. 19) характеризуются большой пористостью, крупными порами и пустотами, малой прочностью, малой объемной массой, воздухопроницаемостью, малой теплопроводностью и погодоустойчивостью: они легко обрабатываются и поддаются распиловке. В соответствии с указанными свойствами эти известняки применяют в виде блоков правильных форм для кладки стен.

Известняковые туфы представляют собой ноздреватую породу, в разной степени уплотненную и состоящую из углекислого кальция. Они образовались в результате выпадения углекислого кальция из источников. Обычно туфы мягки, малой прочности и легко поддаются распиловке. Некоторые разновидности туфов тонкопористого сложения характеризуются прочностью при сжатии до 800 кгс/см². Эти туфы (так называемые *травертино*) образовались в результате выпадения углекислого кальция из горячих источников. Травертино представляют собой хороший строительный материал для граж-

данских и технических зданий. Месторождения туфов известны в районе Ленинграда (гатчинский туф), Пятигорска и др.

Мел представляет собой мягкую землистого сложения слабосцементированную породу, состоящую из мелких обломков кальцита, многоклеточных организмов и микроскопических раковин (например, фораминифер). В качестве примесей в нем могут быть желваки кремния, фосфорит, кварцевые, а также глауконитовые и глинистые вещества. Существуют переходные формы от мела к известняку.

Известняки применяют в дорожном строительстве преимущественно, как местный материал в виде бута, щебня, шашки для мощения, штучных блоков. Из плотных перекристаллизованных известняков изготовляют плиты, блоки и высокосортный щебень для дорожного строительства. Месторождения известняков широко распространены на территории СССР. Крупные месторождения известняков известны в Ленинградской обл. (Путиловские, Волховские), в Московской обл., на Украине, в Молдавии, на Урале, в Крыму, Средней Азии и др.

Доломитом называют горную породу, состоящую из карбонатов Са и Mg (минерал доломит) с примесями глинистого, железистого, кремнистого и других веществ. Доломиты бывают зернистой, оолитовой и кристаллической структуры; с соляной кислотой они «вскипают» только в тонкоизмельченном состоянии или при подогреве. Доломиты несколько тверже известняков; плотные и окрепшие разновидности отличаются значительной прочностью и повышенной погодоустойчивостью. В строительстве дорог их применяют наравне с известняками.

Метаморфические горные породы — это вторичные образования, получившиеся в результате видоизменения первоначальных изверженных или осадочных пород. В результате метаморфизма первичные породы в большей или меньшей степени могут изменять текстуру, минералогический состав, а иногда и химический состав. К ним относятся гнейсы, слюдяные сланцы, филлиты, глинистые сланцы, кварцевые и кремнистые сланцы, мраморы и кварциты.

Гнейсы представляют собой горные породы грубо- или тонкосланцеватой и ленточной (полосчатой) текстуры (рис. 20), получив-

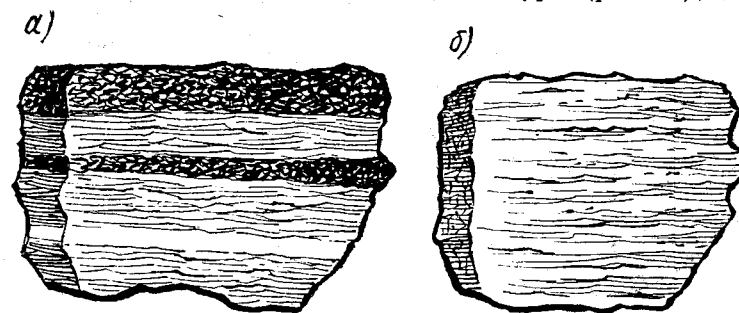


Рис. 20. Текстура гнейсов:
а — ленточная; б — сланцеватая

шиеся в результате видоизменения гранитов, гранодиоритов, кварцевых порфиров, некоторых конгломератов и других пород. Минералогический состав гнейсов может быть разнообразен, но чаще они состоят из ортоклаза (ортоклазовые), плагиоклаза (плагиоклазовые), кварца, слюды, роговой обманки (роговообманковые), авгита (авгитовые) и др.

В гнейсах минералы как бы сжаты и располагаются параллельно некоторой плоскости, что обуславливает неодинаковость их свойства в разных направлениях. Обычно гнейсы в направлении, перпендикулярном к сланцеватости, обладают значительной прочностью при сжатии (1500—2000 кгс/см²), но наличие хорошо выраженной сланцеватости (рис. 20, б) в ряде случаев несколько ограничивает область применения их в дорожном строительстве. Способность отделяться по плоскости сланцеватости облегчает их добычу и переработку, однако при разделении глыб гнейса в связи с этой особенностью получают куски плитообразной формы, а при дроблении на щебень образуется заметное количество плоских и вытянутых щебеньков («лещадки» и «пальцы»), что снижает качество щебня. Чем ближе гнейсы по текстуре стоят к гранитам, тем выше их качество. Ленточные и полосчатые гнейсы — худшие их разновидности.

Гнейсы распространены в местах выходов изверженных горных пород. Разработка месторождений гнейсов ведется в разных районах СССР (см. граниты). Гнейсы используются для изготовления щебня, бутового камня, шашки для мощения и др.

Кварциты представляют собой обычно равномерно кристаллическую плотную горную породу, состоящую из мелких зерен кварца, сцементированных кремнистым веществом, при этом цементирующее вещество трудно отделимо (без микроскопа) от зерен кварца. Кварциты характеризуются большой плотностью, прочностью, хрупкостью и твердостью, при разломе они образуют гладкую поверхность с острыми режущими ребрами (рис. 21). Кварциты весьма устойчивы против выветривания. Отрицательными признаками кварцитов является трудная их обрабатываемость, гладкость поверхности раскола и острые ребра щебня. Кварциты используются для

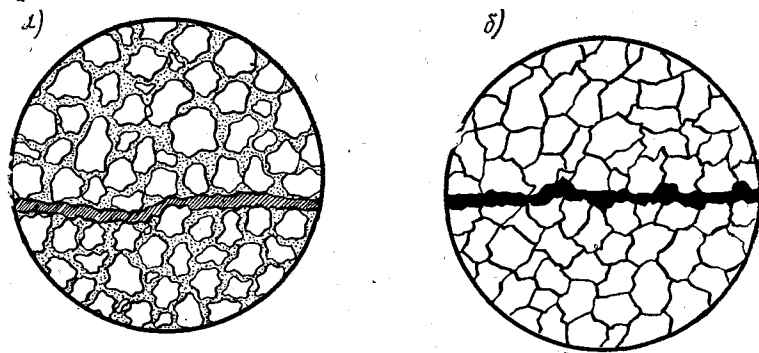


Рис. 21. Схема раскола:
а — кварцевого песчаника; б — кварцита

строительных работ в виде бутового камня, щебня, реже — шашки для мощения и пр. Из лучших его разновидностей изготавливается штучный камень.

Мрамор представляет собой плотный кристаллический известняк, состоящий в основном из тесно сросшихся кристаллов кальцита (*кальцитовый мрамор*). Часто в мраморах наблюдаются примеси магнетита. Иногда эта примесь настолько значительна, что порода носит название *доломитового мрамора*. В качестве второстепенных минералов в мраморах могут быть слюда, гранит, полевые шпаты, кварц, органические соединения. Цвет чистого мрамора — белый, но в зависимости от примесей он может быть крайне разнообразный: красный, розовый — от примесей железистых соединений и марганца, серый и черный — от примеси органических веществ и др. При неравномерном распределении примесей мраморы приобретают пеструю окраску с разными узорами (так называемый *цветной мрамор*). Кальцитовый мрамор характеризуется плотностью около 2,7, твердостью 3—4, незначительной водонасыщаемостью и прочностью при сжатии до 800 кгс/см² и выше. Доломитовый мрамор тверже и прочнее. Мраморы хорошо поддаются распиловке, обработке, шлифовке. Вследствие высоких технических свойств и красивого рисунка их издавна применяют для различных отделочных и декоративных работ.

Недостатком мраморов является их относительно слабая сопротивляемость выветриванию. Разновидности мрамора, непригодные для изготовления штучных изделий, а также отходы при обработке, дробятся для получения мраморной крошки и порошка, которые применяют как заполнители в мозаичных работах и в асфальтобетонах в качестве минерального порошка.

§ 8. ОБСЛЕДОВАНИЕ (РАЗВЕДКА) МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНЫХ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

Скопления горных пород в земной коре, занимающие определенное пространство, называются *месторождениями* горных пород. Разрабатываемые месторождения скальных горных пород принято называть *карьерами* (разработками, каменоломнями). Ценность месторождения зависит от ряда факторов, среди которых главнейшими являются: географическое положение месторождения, дальность и трудность транспортирования материала, условия и характер залегания горной породы, а также ее технические свойства.

Для выяснения пригодности породы и экономической целесообразности разработки месторождения производят его обследование (разведку), в результате которого должна быть получена общая технико-экономическая оценка месторождения.

Полевые обследования (разведка) бывают *рекогносцировочные* (или предварительные) и *детальные* (или полные). Реконсцировочное обследование, в результате которого дается предварительная оценка месторождения, предшествует детальному обследованию. Последний вид обследования производят на основе точной топо-

графической съемки территории, изучения месторождения при помощи специальных шурфов, буровых скважин, расчисток, детального изучения гидрологических условий, сбора ряда необходимых сведений на месте, отбора потребного количества проб породы и пр. Детальное обследование дополняет и уточняет результаты рекогносцировочного обследования.

Обследование месторождений горных пород имеет целью:

1. Определить точное географическое положение месторождений на карте с выяснением возможных условий транспортирования материала до пунктов его потребления.

2. Дать характеристику геоморфологических условий территории с подробным описанием положения месторождения.

3. Определить характер выхода и условий залегания горной породы. При этом отмечается простирание и падение отдельностей (для изверженных пород), а также пластов (для осадочных пород).

4. Выяснить мощность вскрыши, генезис покрывающий породы, ее петрографическую и техническую характеристики.

5. Исследовать горную породу в обнажении, по кернам, вынутым при бурении шпуров и скважин, а из шурфов¹ — кусков породы. Если горная порода имеет выходы на дневную поверхность, изучение производят как на обнаженной стенке месторождения, так и на кусках, отбитых от массива. При этом выясняют петрографическую однородность породы, наличие жил, включений, прослоек, гнезд, линз с определением процентного количества подчиненных пород. Описывая породу (господствующую и подчиненную), определяют генезис, цвет, минералогический состав, структуру и текстуру, характер природного цемента (для осадочных пород), однородность. Далее определяют трудность добычи, переработки и обработки.

6. Тщательно исследовать трещины: их величину, направление и закономерность в распределении; кроме того, выяснить наличие скрытой, малозаметной трещиноватости и величину природных отдельностей и их форму.

7. Определить степень выветрелости породы и направление процессов выветривания, при этом дать подробную характеристику выветрившегося слоя с указанием возможности использования его для различных дорожных работ.

После тщательного изучения горной породы необходимо отобрать полевые пробы для лабораторных испытаний и камерального изучения их. Пробы берут из господствующей и из подчиненных свежих пород. Выветрелые слои должны быть также представлены образцами. Величина и количество проб зависят от однородности пород в месторождении и от целевого назначения проб. Для лабораторных испытаний пробы берут в таком количестве (в одном и нескольких кусках), которого было бы достаточно для производства

необходимых испытаний. Для определения, например, физико-механических свойств одна проба однородной породы должна состоять из двух кусков размером не менее $30 \times 40 \times 40$ см. Взятая проба должна отвечать среднему составу породы. Пробы выламывают при помощи клиньев и закольников по возможности без взрывных работ. В особо затруднительных случаях допускается применение черного пороха.

Все работы по обследованию месторождений записывают в полевой журнал по специальной форме (карточка месторождения) со схематическими зарисовками и фотографиями наиболее характерных мест. На эскизном рисунке обозначают места взятия проб с указанием глубины в метрах.

После этого определяют запасы горной породы в пределах допустимой разработки и мощности массива (топографические и территориальные условия, уровень грунтовых вод, возможный способ работ). Запасы выражают в кубических метрах. Запасы полезных ископаемых исчисляют при детальной разведке по категориям: А — запасы полностью изучены, В — запасы достаточно изучены; при рекогносцировочной разведке — по категориям: С₁ — запасы ориентировочно изучены и С₂ — предполагаемые запасы.

В технико-экономическую характеристику месторождения входят: выяснение гидрогеологических условий исследуемого района, возможности разработки месторождения на протяжении года, наличия подъездных путей, возможного способа разработки, степени обеспеченности квалифицированными рабочими.

§ 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Качество горной породы как сырья для производства каменных материалов определяют степенью пригодности ее для изготовления проектируемой каменной продукции при принятой технологии разработки горного массива и переработки горной массы.

Горные породы как по условиям залегания, так и по составу и техническим свойствам разнообразны, поэтому для каждого месторождения должна быть спроектирована оптимальная технология разработки и переработки с целью получения каменных материалов необходимого качества с минимальным количеством отходов.

Важнейшей составляющей разведки месторождения является определение качества горных пород, которое обуславливается составом, структурно-текстурными признаками, степенью свежести, размерами и формой природных отдельностей породы.

Качество горной породы необходимо определять совокупностью таких показателей, признаков и свойств, которые с достаточной полнотой характеризовали бы отношение породы и принятой технологии переработки для получения доброкачественного каменного материала. Правильный учет признаков и свойств горной породы предопределяет тот вид каменного материала, который рационально изготавливать из данной породы.

¹ Шурф — вертикальная или наклонная разведочная горная выработка обычно сечением около 1 м и небольшой глубины. Шпур — цилиндрическое углубление в породе диаметром 75 мм и глубиной до 5 м. Скважина — цилиндрическое углубление диаметром 75—300 мм и глубиной более 5 м.

Таблица 3

Твер- дость	Минерал	Другие признаки	Твер- дость	Минерал	Другие признаки
1	Тальк или мел	Чертится ногтем	5	Апатит	Не царапается ножом и не чертит стекла
2	Каменная соль или гипс	Чертится ногтем большого пальца	6	Ортоклаз	Слегка царапает стекло
3	Ангидрит или кальцит	Чертится ножом	7	Кварц	Легко чертит стекло
4	Плавленый шпат	С трудом чертит- ся ножом	8	Топаз	—
			9	Корунд	—
			10	Алмаз	—

Каждому генетическому типу горной породы присущи определенные свойства, которые находят свое отображение во внешних признаках породы. Поэтому изучение петрографии, состава и характерных внешних признаков породы дает возможность получить предварительное суждение о ее составе, структурно-текстурных особенностях, степени выветрелости (свежести) горной породы, а следовательно, о целесообразности ее переработки в тот или иной строительный материал.

Поэтому для определения качества горной породы вначале необходимо по отобранным пробам дать полную петрографическую характеристику, а затем определить физико-механические и технологические свойства породы.

Структура (строение) и текстура (сложение) характеризуют крупность, взаимное расположение и сцепление составляющих горную породу минералов. Эти признаки являются существенными дополнительными показателями физико-механических и технологических свойств.

Твердость простых пород определяют шкалой твердости (табл. 3).

В результате изучения петрографических признаков выявляются особенности, определяющие ее качество. Объем лабораторных испытаний, а также заключение о пригодности горной породы для предполагаемого использования можно дать только при условии учета названных внешних признаков.

Полный объем испытаний технологических и физико-механических свойств включает следующие определения.

Определение технологических свойств. Для получения дорожно-строительного материала скальную горную породу соответствующим образом перерабатывают и обрабатывают (раскалывают, дробят, распиливают, подвергают теске, шлифовке, полировке и т. п.).

До проведения лабораторных испытаний необходимо определить технологические свойства горной породы, т. е. отношение ее к выбранным способам переработки.

Так, например, для определения раскалываемости отобранные пробы подвергают пробному расколу кувалдой. При этом учитывают: характер раскола горной породы, форму и размеры получаемых кусков, количество и качество отходов, величину зоны смятия в месте удара, характер плоскости раскола, шероховатость и форму ребер.

Если горная порода будет дробиться на щебень, она должна быть подвергнута пробному дроблению, при этом, кроме указанного, необходимо определить качество получаемого щебня и количество отходов (смятого материала).

Буримость горных пород в необходимых случаях ориентировочно определяется твердостью, вязкостью и раздроблением минералов, составляющих породу. Затраты времени на бурение горных пород легким порфоратором определяют ориентировочно показателями, приведенными в табл. 4.

Таблица 4

Категория	Группа	Название горной породы	Предел прочности при сжатии, кгс/м ²	Затрата времени бурения порфоратором, мин/м
VIII	a	Осадочные	200	3,5
	b		200—400	3,5
	b		400—600	6,0
IX	a	Граниты дресвяные, известняки мергелистые, песчаники глинистые, сланцы глинистые	600—800	8,5
	b	Граниты и сиениты выветрелые, известняки плотные, песчаники, сланцы	800—1000	11,5
X	a	Доломиты, известняки прочные, песчаники на известковом цементе	1000—1200	15,0
	b	Граниты и сиениты крупнозернистые, известняки и доломиты очень прочные, песчаники на кварцевом цементе, сланцы слюдяные	1200—1400	18,5
XI	a	Андезиты, базальты со следами выветривания, гнейсы, сиениты, трахиты, очень прочные известняки	1400—1600	22,0
	b	Граниты и сиениты среднезернистые, гнейсы прочные, диабазы, порфириды, трахиты	1600—1800	27,5
XII	a	Граниты мелкозернистые, диориты, гранито-гнейсы, известняки окремненные, порфириды	1800—2000	32,5
	b	Андезиты, базальты, габбро, диабазы, диориты, кварциты	2000—2500	46,0
XIII		Базальты, габбро, диабазы, порфириды, кварциты	2500	90,0

В результате определения технологических свойств дается дополнительная характеристика горной породы. Учитывая целевое назначение породы, сопоставляют описание внешних признаков и результаты технологической пробы и только после этого назначают программу выборочных или полных лабораторных испытаний для характеристики физико-механических свойств горной породы.

Определение физико-механических свойств. Определение состава и физико-механических свойств горных пород в дорожных лабораториях производят установленными методами и аппаратурой.

1. **Плотность** — масса единицы объема породы без пор. Плотность является характеристикой минералогического состава. Значение плотности необходимо для суждения о вещественном составе породы, для пересчета объема на массу горных пород и определения пористости.

2. **Объемная масса** — масса единицы объема породы с порами и микротрещинами. Объемная масса меньше, чем плотность, и чем ближе значения плотности и объемной массы, тем плотнее порода. Объемная масса характеризует состав, сложение горной породы и зависит от ее состава и плотности.

Объемную массу рыхлых горных пород (гравия, песка) и дробленых (щебня) определяют как *насыпную массу*.

Показатель объемной массы необходим для подсчета массы материала и отдельных элементов конструкций, для определения пустотности и др.

Для строительных целей горные породы по объемной массе делят на легкие (объемная масса меньше 1,80) и тяжелые (объемная масса больше 1,80).

3. **Пористость** определяет объем пор и микротрещин в единице объема и вычисляется по плотности и объемной массе в процентах. Пористость характеризует суммарное количество пор, но не определяет диаметр и взаимное расположение их в теле породы, а также количество открытых и закрытых пор. Обычно различают микропоры диаметром в сотых долях миллиметра и макропоры размером от 10 долей до 2 мм.

Показатель пористости косвенно характеризует прочность, водопоглощение, теплопроводность, звукопроводность, морозостойкость и погодоустойчивость горной породы.

4. **Водные свойства.** Влажность определяет количество влаги по массе или по объему в процентах, поглощенной и удерживаемой горной породой в данный момент.

Влажность породы в естественном залегании называют *природной влажностью*.

Водопоглощение характеризует количество воды, которое может поглотить и удержать образец горной породы молекулярными и капиллярными силами при нормальном атмосферном давлении.

Чем больше поверхность (и ее шероховатость), гидрофильность и пористость (при этом чем больше количество открытых пор), тем больше водопоглощение.

По показателю водопоглощения различают горные породы:

Очень большого водопоглощения	8%
Большого »	3—8%
Среднего »	1,5—3%
Малого »	0,5—1,5%
Очень малого »	<0,5%

Водонасыщение определяют количеством воды, которое могут поглотить образцы горной породы при вакууме или при повышенном давлении. При таком способе насыщения вытесняется из открытых пор воздух и порода вследствие этого поглощает воды больше. Показатель водонасыщения больше водопоглощения. Однако крупные поры и пустоты, в которых вода не может удержаться капиллярными силами, не могут быть учтены водонасыщением.

Для суждения о возможном снижении прочности при увлажнении горной породы определяют *коэффициент размягчения*, который представляет отношение показателей прочности при сжатии насыщенной водой породы к показателю прочности сухого образца.

Коэффициент водонасыщения определяют как частное от деления показателя водопоглощения на показатель водонасыщения и является ориентировочным показателем морозостойкости для пород пористого сложения. Для неморозостойких пород коэффициент водонасыщения по Гиршвальду превышает 0,8.

5. **Морозостойкость** — способность горной породы в водонасыщенном состоянии, при попеременном замораживании (при -17°C и оттаивании, не проявлять признаков разрушения и не снижать прочность больше чем на 25%; потеря в массе не должна быть более 5%.

Если вода занимает открытые поры не полностью (менее 90%), порода может оказаться морозостойкой. Крупнопористые породы с пустотами могут быть морозостойки. Морозостойкость породы в известной степени зависит от минералогического состава, однородности и крупности кристаллов (например, пегматит), так как вследствие изменения объема при перепадах температуры от $+18^{\circ}\text{C}$ до -20°C могут быть нарушены кристаллизационные связи.

Коэффициент морозостойкости вычисляется как отношение показателя прочности при сжатии образца породы в водонасыщенном состоянии до испытания на морозостойкость и после испытания. Морозостойкость обозначают *Мрз*.

Для строительных целей горные породы по степени морозостойкости делят по количеству циклов переменного замораживания и оттаивания (без заметных деформаций) на следующие группы:

Выдерживание не менее 10 циклов	Мрз 10
» » » 15 »	Мрз 15
» » » 25 »	Мрз 25
» » » 35 »	Мрз 35
» » » 50 »	Мрз 50
» » » 100 »	Мрз 100
» » » 200 »	Мрз 200

Часто испытание на морозостойкость заменяют более простым испытанием «на сохранность» (испытание сернокислым натрием). При этом испытываемые образцы постепенно погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) с последующим высушиванием в сушильном шкафу. Насыщение и высушивание повторяется 15 раз.

При этом испытании насыщенный раствор сернокислого натрия проникает в открытые поры, где при высушивании образца начинает кристаллизоваться, при этом возникает огромное давление формирующихся кристаллов на стенки пор, в результате чего порода разрушается.

По результатам испытания на морозостойкость (или сохранность) определяют марку породы по морозостойкости (табл. 5).

Таблица 5

Метод испытания	Марка по морозостойкости (ГОСТ 8267—56)				
	Мрз 15	Мрз 25	Мрз 50	Мрз 100	Мрз 150
	Показатели				
Непосредственно замораживанием					
а) число циклов	15	25	50	100	150
б) потеря в массе, % после испытания, не более	10	10	5	5	5
В растворе сернокислого натрия					
а) число циклов	3	5	10	10	15
б) потеря в массе, % после испытания, не более	10	10	10	5	5

6. Погодоустойчивость характеризует устойчивость горной породы против воздействия на нее атмосферных факторов (влаги, температуры, углекислого газа, кислорода, воздуха и др.).

7. *Прочность при сжатии*. При сжатии статической нагрузкой, возрастающей с определенной скоростью, в образце горной породы возникают внутренние напряжения, которые, достигая определенного предела, разрушают породу. Необходимо иметь в виду, что нарушение внутренних связей в породе возникает несколько раньше достижения напряжения, равного максимальной нагрузке.

Максимальную нагрузку, разрушающую образец правильной геометрической формы (куб или цилиндр), отнесенную в площади поперечного сечения, называют *пределом прочности* при сжатии и обозначают $R_{сж}$ кгс/см². Прочность при сжатии у горных пород зависит от минералогического состава, структуры, текстуры, степени выветрелости (свежести) и влажности. Наиболее прочны мелкокристаллические изверженные и наименьшая прочность у осадочных пород молодого возраста со слабой цементацией.

По прочности при сжатии горные породы делят на группы:

Очень прочные	1200 кгс/см ²
Прочные	1200—800 »
Средней прочности	800—600 »
Слабые	600—300 »
Очень слабые	<300 »

Для строительных целей горные породы по расчетному пределу прочности при сжатии (кгс/см²) делят на марки:

горные породы с объемной массой менее 1,8—4,7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 120 и 200;

горные породы с объемной массой более 1,8—100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 и 1200.

Хрупкость горной породы характеризуется незначительной разницей между пределами прочности при сжатии и растяжении, вследствие этого при воздействии ударной нагрузки порода разрушается как только нагрузка достигает разрушающей величины. Свойство горной породы, противоположное хрупкости, называют *вязкостью*. Наиболее хрупкие горные породы — кварциты, кремнистые породы, а наиболее вязкие — перидотиты, пироксениты.

9. *Истираемость* — способность каменного материала сопротивляться истирающим усилиям. Чем больше твердость, тем меньше истираемость. Материалы из мелкозернистых кварцевых пород обладают наименьшей истираемостью. Показателем истираемости является потеря (г·см²) за определенный путь (м).

Износ щебня характеризует его сопротивление истирающим, ударным усилиям и обламыванию кромок.

По показателям прочности при износе (истирании) в полочном барабане щебень делят на:

Очень прочный	<20%
Прочный	21—30%
Средней прочности	31—45%
Слабый	46—55%
Очень слабый	>56%

При расчете дорожных конструкций автомобильных дорог, оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий и других специальных инженерных сооружений пользуются формулами теории упругости, в которые входят такие параметры, как модуль упругости E , коэффициент Пуассона μ , модуль сдвига g , характеризующие механические свойства горных пород.

10. *Модуль упругости* является коэффициентом пропорциональности между напряжениями и деформациями $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$,

где σ — напряжение, кгс/см²; E — модуль упругости, кгс/см²; ϵ — относительная деформация материала. Коэффициент пропорциональности между касательными напряжениями τ и соответствующей деформацией сдвига носит название *модуля сдвига*.

11. *Коэффициент Пуассона* является коэффициентом пропорциональности только между деформациями, продольной и относительной поперечной.

Таблица 6

Горная порода	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$, кгс/см ²	Коэффициент Пуассона
Гранит	5—8	0,10—0,31
Базальт	9—12	0,24
Габбро	10,7	0,31
Кварцит	4—10	0,15—0,09
Песчаник	0,5—5	0,19—0,21
Песчаник кварцевый	3—4	0,19
Известняк	4—7	0,19—0,22

рованием качества получаемого каменного материала. В табл. 7 приведена техническая характеристика скальных горных пород как исходного сырья для производства щебня, в которой в основу оценочных данных горных пород положены ведущие для указанной цели показатели — состав, структурно-текстурные признаки, выветренность, шероховатость поверхности раскола и физико-механические свойства (прочность при расколе, хрупкость, водонасыщение и энергоёмкость при расколе и дроблении).

В таблице породы разделены на три группы и девять подгрупп по генетическому признаку. К первой группе отнесены глубинные изверженные горные породы, обладающие большой прочностью, морозостойкостью и вязкостью (граниты, сиениты, диориты, габбро, порфиты и др.). Во второй подгруппе помещены излившиеся изверженные прочные породы, но обладающие повышенной хрупкостью (липариты, трахиты, андезиты, базальты). В каждой группе выделены породы такого же генезиса, но затронутые выветриванием, прочностью более 800 кгс/см².

В группе осадочных пород рассматриваются только песчаники, известняки и доломиты.

В группу метаморфических горных пород включены три подгруппы, резко отличных между собой: кристаллические сланцы, кварциты и мраморы. В последней подгруппе интерес для производства дорожно-строительных материалов представляют только мраморовидные известняки. Для каждой подгруппы приведены показатели прочности и морозостойкости, необходимые для характеристики качества горной породы.

Для характеристики горной породы при раскалывании и дроблении необходимо определить прочность при расколе, хрупкость, удельную работу при расколе и водонасыщение. По значению приведенных показателей и свойств исследуемая горная порода может быть отнесена к определенной марке.

Определяя прочность при расколе между двумя взаимнонаправленными конусами (П. А. Боровский), можно получать приближенные показатели прочности при растяжении и сжатии путем пере-

Численные значения модуля упругости и коэффициента Пуассона некоторых горных пород приведены в табл. 6.

Химические свойства горных пород определяют их химическое взаимодействие с окружающей средой (главным образом с теми веществами, которые содержатся в воздухе и воде).

Выбор горной породы для получения запроектированной каменной продукции с использованием оптимальной технологии производства, связан с прогнози-

расчета показателя прочности, пользуясь следующими зависимостями:

$$R_{\text{раск}} = \frac{P}{F}; R_{\text{раст}} = \gamma R_{\text{раск}}; R_{\text{сж}} = \beta R_{\text{раск}},$$

где $R_{\text{раск}}$ — предел прочности при расколе, кгс/см²; P — предельная нагрузка при расколе, кг; F — площадь раскола, см²; $R_{\text{раст}}$ — предел прочности при растяжении, кгс/см²; $R_{\text{сж}}$ — предел прочности при сжатии, кгс/см²; γ — корреляционный коэффициент, равный 0,90—1,05; β — корреляционный коэффициент, равный 12—20.

Существенным показателем для горных пород является хрупкость. Чем больше хрупкость породы, тем легче она раскалывается, тем меньше энергоёмкость при расколе. Хрупкость горных пород можно характеризовать как отношение показателей прочности к удельной работе, затраченной на разрушение. Коэффициент (степень) хрупкости можно определить по следующей зависимости:

$$X_p = \frac{R_{\text{раск}}}{E},$$

где $R_{\text{раск}}$ — предел прочности по расколу, кгс/см²; E — удельная работа при расколе ударной нагрузкой, кгс/см²;

$$E = \frac{A}{F} = \frac{2m(h_n + h_k)}{2F},$$

где A — работа, затраченная на разрушение, кгс/см; m — количество ударов; h_n — начальная высота падения гири (1 см); h_k — конечная высота падения гири, см; F — площадь образца при расколе, см².

§ 10. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Для производства каменных материалов в карьере вначале отделяют скальную породу от массива, а затем полученную *горную массу* подвергают переработке на потребный каменный материал. Разрабатываемую горную породу называют *полезным ископаемым*; породы, которые не могут быть использованы для производства каменных материалов, называют *пустой породой*.

Комплекс работ по добыче полезных ископаемых носит название *горных работ*. Пустые пространства, образующие в породе в процессе добычи полезного слоя, называют *выработками*.

Различают *карьеры коренных месторождений*, в которых разрабатывают сплошные скальные горные породы (например, разработка гранитов, известняков и др.) и *карьеры рыхлых горных пород* (песков, гравия, валунного камня).

В зависимости от условий залегания, качества и запасов горных пород, географического расположения месторождения, различают карьеры:

промышленные с большими запасами доброкачественного полезного ископаемого; они территориально не связаны со строительными объектами, срок их действия более 10 лет с производительно-

Группы горных пород по генезису	Основные физико-механические свойства	Структурно-текстурные признаки	Физико-механические и технологические свойства				
			Предел прочности при расколе, кгс/см ² , более	Степень хрупкости, более	Энергоемкость (удельная работа при статической нагрузке), кгс/см ² , более	Водопоглощение, %	Марка породы
I. Магматические (изверженные)	1. Граниты, сиениты, диориты, порфиры, диабазы, габбро	Породы (свежие) прочностью при сжатии более 1200 кгс/см ² ; морозостойкость более Мрз 200	60	1	8,0	0,5	I
	2. Липариты, андезиты, трахиты, базальты	Породы (свежие) прочностью при сжатии более 1200 кгс/см ² ; морозостойкость более Мрз 50—200	60	4	2,0	0,1—0,5	I
	3. Граниты, сиениты, диориты, порфиры, диабазы, андезиты, габбро, липариты, трахиты	Породы пониженной прочности (частично затронутые выветриванием), прочностью при сжатии от 800 до 1200 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 50—100	50 40	2 5	5,0 4,0	0,5—1,0 0,5—2,0	II III
		Породы полнокристаллической структуры (мелко-средне- и крупно-) плотные, поверхность раскола шероховатая					
II. Осадочные	1. Песчаники	Породы (свежие и затронутые выветриванием) прочностью при сжатии более 600 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 25—150	60 50 40 30	2 2,5 4 6	6,0 5,0 1,0 0,5	0,5—5,0	I II III IV
	2. Известняки и доломиты	Породы (свежие и затронутые выветриванием), прочностью при сжатии более 600 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 25—150	60 50 40 30	2,5 4 6 8	5,0 4,0 0,5 0,3	0,5—5,0	I II III IV
		Породы от плотнокристаллических до слабосцементированных зернистых, раскол гладкий до слабошероховатого					
		Породы от плотнокристаллической до слабосцементированных зернистых, площадь раскола гладкая и шероховатая					
III. Метаморфические	1. Кристаллические сланцы (гнейсы)	Породы (свежие, частично выветрелые), прочностью при сжатии более 600 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 25—200	60 50 40 30	1 2 5 6	8,0 5,0 4,0 0,5	0,1—2,0	I II III IV
	2. Кварциты и кварцитовидные песчаники	Породы, прочностью при сжатии более 800 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 100—200	60 50 40	4 5 10	2,0 1,5 0,5	0,1—1,0	II III IV
	3. Мраморы и мраморовидные известняки	Породы с прочностью при сжатии более 800 кгс/см ² ; морозостойкость Мрз 50—100	50 40 30	2 4 6	5,0	0,5—2,0	II III IV
		Породы полнокристаллической и грубозернистой структуры и преобладанием характерной сланцеватости, раскол шероховатый					
		Породы скрытокристаллической структуры, плотной текстуры					
		Породы кристаллической структуры, плотные					

стью более 100000 м³ в год. Такие карьеры хорошо оснащены необходимым оборудованием, машинами, внутрикарьерными и подъездными путями. Готовую продукцию транспортируют железнодорожным транспортом, водными путями, а на сравнительно небольшие расстояния, автомобилями;

притрассовые карьеры местного значения, расположенные в районе строящихся объектов, срок действия их менее 10 лет. Готовая продукция транспортируется автомобилями. Себестоимость продукции притрассовых карьеров обычно несколько больше, чем в промышленных.

В зависимости от условий залегания горных пород разработка их может вестись *открытым способом*, т. е. в открытых выработках, реже *подземным способом* (например, разработка штольнями ракушечных известняков), или *подводным способом* в том случае, когда порода залегает под водой сравнительно неглубоко от поверхности воды в реке, озере.

При выборе рационального способа разработки породы в карьере учитывают ряд факторов, важнейшими из которых являются: гидрогеологические условия района месторождения, характер и качество вскрышных пород, возможный способ транспортирования как сырьевой (необработанной) породы, так и готовой продукции. Для решения вопроса о виде каменной продукции, которую можно получить в карьере, особое внимание обращают на прочность, твердость и вязкость породы, ее структурно-текстурные особенности, технологические свойства породы, характер трещин и их расположение, наличие в разной степени выветрившихся слоев.

При открытом способе горных работ характер их в значительной степени зависит от условий расположения пород, которые могут залегать горизонтально или иметь крутое или пологое падение. В этих случаях порода может залегать выше, на уровне или ниже дневной поверхности. Обычно слои покрыты большей или меньшей толщей покровных горных пород, а в верхней своей части имеют в той или иной степени выветрелые слои. Выходы горных пород на дневную поверхность (обнажения) могут наблюдаться на склонах долин, балок, берегов рек и пр.

Для открытых работ наиболее удобны выходы горных пород на склонах, так как в этом случае обычно бывает малая вскрыша, легче перемещать добытую породу вниз, а также нет затруднений с отводом атмосферных и грунтовых вод.

Разработка месторождения включает следующие основные производственные процессы: планировку местности и мероприятия по отводу атмосферных и талых вод; вскрышные работы — обнажение породы; разработка и удаление на специально отведенные площади дресвяного (сильно выветрелого) слоя; отделение монолитов породы от массива; передвижение монолитов породы к месту дальнейшей переработки и их сортировка по качеству; развалка монолитов породы на более мелкие глыбы потребных размеров (габаритный камень) и дальнейшая их обработка или переработка в заданный вид каменной продукции (колка, теска, дробление и др.) и ее сор-

тировка; транспортирование готовой продукции на складские площадки или на погрузку.

Приведенная схема может иметь и другое содержание, например, при производстве щебня или при добыче пиленого каменного материала (блоки, плиты и др.).

В зависимости от условий залегания горной породы, ее прочности, трещиноватости, отделение породы от массива может производиться механическим способом (экскаваторами), который применяется при разработке осадочных горных пород, разбитых природными трещинами на сравнительно небольшие отдельности.

Массивные изверженные горные породы, как правило, разрабатывают с применением взрывчатых веществ, в том случае, когда проектируется получить грубоколотый каменный или дробленый материал.

При отделении глыб слоистых, трещиноватых, столбчатых пород обычно применяют механические средства (использование клинзев, механических лопат).

При добыче горной породы буро-взрывным способом в ней бурят скважины или шпуров в один, два и более рядов вдоль фронта уступа. В горных породах средней прочности скважины и шпуров закладывают станками вращательного бурения, а в прочных породах — ударно-вращательного бурения.

В последние годы начали осваивать и термические (огневые) способы проходки скважин, в частности, прожигание скважин цилиндрической формы факелом из смеси керосина и кислорода, выбрасываемым со скоростью 2000 м/с из реактивной горелки при температуре до 3000° С. В результате такого теплового и механического воздействия горная порода разрушается.

В скважины или шпуров закладывают взрывчатое вещество и после тщательной заделки их сверху породу взрывают. От мгновенного разложения взрывчатого вещества образуется большой объем газов и высокая температура, под влиянием которых порода раскалывается и дробится. Эффект взрыва зависит от вида взрывчатого вещества, его количества, расположения в породе и вида скважин или шпуров.

Взрывчатые вещества (ВВ) по характеру действия делят на две группы: *метательные* (например, черный порох) и *бризантные* — дробящие (например, аммонит, игданит, динамон и др.). Метательные взрывчатые вещества обладают сравнительно небольшой скоростью разложения ВВ (300—400 м/с), вследствие чего объем их увеличивается постепенно. При применении этих взрывчатых веществ не происходит сильного дробления горной породы, поэтому их применяют для получения монолитов больших размеров и при добыче породы для производства штучного камня (например, блоков, бортового камня и др.).

Бризантные взрывчатые вещества характеризуются большой скоростью разложения ВВ (4000—7000 м/с) с мгновенным увеличением объема газов и температуры, в результате чего происходит дробление добываемой породы. Взрывчатые вещества бризантного дейст-

вия (например, аммониты, игданиты) применяют при добыче рваного камня и щебня. Для получения большого количества рваного камня и щебня иногда прибегают к массовым взрывам породы групповыми зарядами.

Слабые и мягкие породы, например ракушечные известняки, известняковые туфы, добывают путем распиловки массива камнерезной машиной на блоки определенных размеров и правильной геометрической формы (преимущественно как стеновой строительный материал). Необходимо отметить, что известняки подвергаются легкой распиловке во влажном состоянии.

При разработке месторождений некоторых разновидностей гранитов, туфов, мраморов (в открытых выработках) на штучный камень — плиты, блоки — применяют также способ распиловки породы механическими пилами (например, пилы со стальными дисками с пластинками твердых сплавов или с абразивными порошками).

Более эффективными по сравнению с дисками армированными пластинками из твердых сплавов являются диски, на обод которых нанесена абразивная масса, состоящая из мелкозернистого карборунда, электрокорунда или шлифовального порошка разной крупности. В качестве связующего материала в этом случае применяют разогретый жидкий бакелит, в который вводят 2—4% сухого строительного гипса (наполнитель).

Весьма высокая производительность бурения и резания достигается при использовании понизителей твердости и алмазного режущего инструмента, для изготовления которого применяют природные или искусственные алмазы массой зерна от 0,5 до 1,5 карата.

§ 11. ПЕРЕРАБОТКА ГОРНОЙ МАССЫ

В зависимости от проектируемого вида каменной продукции, которую предполагают получить, отделенную от массива горную массу крупных (негабаритных) размеров подвергают соответствующей обработке и переработке. Развалку крупных глыб породы осуществляют взрывным способом или при помощи клиньев. Раскалывать кувалдами (например, тяжелая кувалда весит 10—15 кг) можно сравнительно небольшие глыбы. По намеченной линии непосредственно кувалдой или через закольник наносят ряд сильных ударов до развала глыбы камня.

При помощи клиньев и взрывным способом монолиты разделяют путем предварительного бурения ряда небольших шпуров — буров глубиной 8—10 см или большей глубины (для крупных монолитов) на расстоянии 20—25 см одна от другой в зависимости от кокости породы. В подготовленные шпуры вставляют две щечки, а между ними клинья, которые последовательно забивают молотком.

Для развалки монолитов взрывным способом (слабыми взрывами) шпуры делают глубже (до 50 см), но в меньшем количестве, а для сравнительно небольших монолитов может быть только один шпур, который бурят перфораторами. Разметка монолитов для высверливания шпуров — важный процесс при их разделке, так как от нее зависит правильность кусков и количество отходов.

Раскалывание крупных монолитов (обычно размером более 5 м³) при помощи взрывчатых веществ допускается с ограничением для того, чтобы взрывы не вызывали дробления монолита. В том случае, если предполагается получить грубоколотый материал (бут, шашку для мощения), указанное ограничение не служит существенным препятствием при раскалывании монолитов. Для изготовления бортовых камней, плит, блоков в последние годы на промышленных карьерах используют распиловочные станки, производительность которых достигает до 1,6 м²/ч для гранитов и до 8 м²/ч для мраморов.

Для дальнейшей разделки и обработки полученный каменный материал транспортируют в зависимости от топографических условий разработки в вертикальном или горизонтальном направлении на специально предназначенные для этой цели площадки или к месту погрузки. Транспортирование осуществляется при помощи лотков, бремсбергов, по канатным дорогам, автомобильным транспортом и т. п.

Для различных целей дорожного строительства из скальных пород изготавливают *дробленую продукцию* (щебень), *колотую* (бутовый камень, шашку для мощения, шашку пакеляжную), *тесаную* (бортовой камень, брусчатку, блоки) и *молотую* (каменную муку).

Щебень представляет собой смесь угловатых обломков размером 5—70 мм, полученных в результате дробления скальных горных пород.

Природный щебень образуется в результате физико-механического выветривания скальных горных пород и отложенный на месте своего образования. Природный щебень состоит из обломков горных пород в той или иной стадии выветривания и содержит разное количество землистых примесей.

Щебень является ведущим каменным материалом в строительстве. Технология переработки горной массы на щебень, погрузочно-разгрузочные и строительные работы могут быть полностью механизированы, а отдельные операции и автоматизированы; наконец, из щебня можно создавать различные композиции — щебеночные конструктивные слои, асфальто-, пласт- и цементобетоны разных свойств. Щебень может быть приготовлен из скальных горных пород различных свойств, в соответствии с чем проектируется оптимальная технология переработки породы на щебень потребного качества. Щебень изготавливают дроблением горных пород в камнедробилках. Ведущим показателем дробления является показатель *степени измельчения*

$$i = \frac{D}{d},$$

где i — степень измельчения; D — максимальный размер куса породы до дробления, мм; d — максимальный размер зерен породы после дробления, мм.

Процесс дробления для получения щебня необходимой granulometрии обычно осуществляют в несколько стадий. В этом случае общую степень измельчения определяют как произведение степеней измельчения. При дроблении горной массы различают: крупное дробление — куски породы более 250 мм, среднее — 250—40 мм и мелкое — менее 40 мм.

При производстве щебня в зависимости от признаков и свойств породы применяют щековые, конусные, молотковые (ударного действия) и другие дробилки, при этом процесс дробления осуществляют в две, три, а иногда и четыре стадии.

Щековые дробилки используют преимущественно для крупного и среднего дробления при степени измельчения 5—6. Конусные дробилки пригодны для крупного, среднего и мелкого дробления горных пород разной прочности. Степень измельчения на них 3—5. Дробить вязкие, мокрые и глинистые породы на этих дробилках не следует. Производительность конусных дробилок значительно больше, чем щековых.

Камнедробилки ударные выпускают ударного действия (молотки-била подвешены шарнирно) и роторные, в которых била закреплены жестко. Эти камнедробилки пригодны для дробления неабразивных пород прочностью до 1000—1500 кгс/см² (например, известняков) для крупного, среднего и мелкого измельчения. Значительное увеличение скорости вращения повышает образование каменной мелочи.

Технологический процесс дробления горных пород состоит из следующих операций: подготовительная — раскалывание кусков горной массы на отдельные размером до 40 см, подача подготовленной породы в зев камнедробилки, дробление (в одну, две стадии), транспортирование дробленого материала на устройства для сортировки по крупности, грохочение при помощи цилиндрических (вращающихся) или плоских (вибрирующих) машин-грохотов и транспортирование фракционированного щебня к месту назначения или на склады.

В необходимых случаях щебень, предназначенный для приготовления бетонов, подвергают мойке. Промывка щебня не только увеличивает производительность грохота, но и значительно улучшает качество щебня.

В процессе дробления получают зерна щебня разной геометрической формы (рис. 22), некоторое количество зерен с микротрещиноватостью (при дроблении прочных, крупных пород) или со смятой поверхностью (раздробленные зерна), а также то или иное количество смятой мелочи — отходов.

Содержание зерен по крупности и смятой мелочи зависит не только от свойств исходной горной породы, но и от принятой технологии дробления.

Для получения щебня повышенного качества, однородного по прочности и улучшенной формы, применяют различные способы обогащения — избирательное дробление, обогащение по прочности, форме зерен и др.

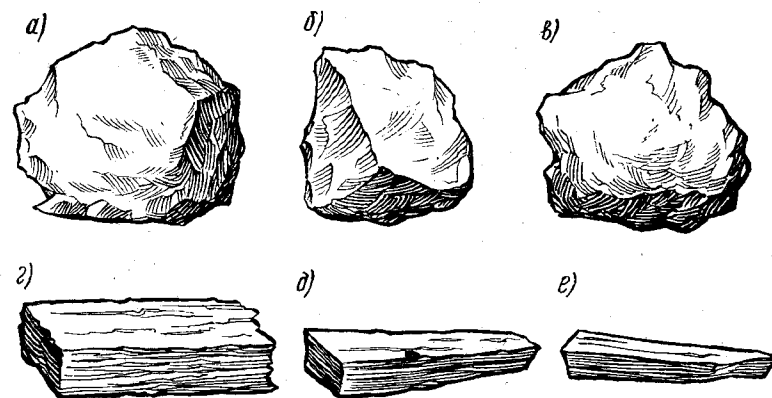


Рис. 22. Форма зерен щебня:

а — кубовидная; б — клиновидная; в — угловатая; г — плитовидная; д — лещадочная; е — пальцеобразная

При избирательном дроблении в дробилках-грануляторах улучшение формы зерен происходит вследствие разрушения слабых зерен и примесей, что дает возможность при последующем грохочении удалить смятую мелочь и примеси.

При наличии разнопрочного щебня в необходимых случаях прибегают к разделению по прочности предварительно разгрохоченного щебня в специальных машинах-классификаторах.

Щебень по крупности зерен для дорожного строительства делят на сорта (табл. 9). Щебень размером зерен 70—150 мм называют гигантским щебнем.

Качество щебня, т. е. степень соответствия показателей его признаков и свойств проектируемому назначению, определяют в карьере (на месте его производства) и на месте его потребления (на строительном объекте) путем изучения внешних признаков и испытанием отобранных проб материалов. При этом определяют петрографические признаки и однородность горной породы, из которой получен щебень, крупность, granulometрический (зерновой)

Таблица 8

Сорт щебня	Крупность зерен щебня, мм
Крупный	70—40
Средний	40—20/25
Мелкий	20/15—10/15
Клинец	10/15—5
Высевки (или искусственный дробленый песок)	<5

Таблица 9

Марка щебня	Износ (потеря в массе при испытании), %	
	Известняки, доломиты	Изверженные, метаморфические и другие осадочные породы
И-I	≤30	≤25
И-II	31—40	26—35
И-III	41—50	36—45
И-IV	51—60	46—55

Таблица 10

Марка щебня	Дробимость (потеря в массе при испытании), %	
	Щебень в сухом состоянии	Щебень в насыщенном водой состоянии
1200	≤6	≤9
1000	7—8	10—11
800	9—10	12—14
600	11—14	15—18
400	15—24	19—28
300	25—28	29—38
200	29—35	39—54

Таблица 11

Марка щебня	Дробимость (потеря в весе при испытании), %	
	Щебень изверженных интрузивных и метаморфических пород	Щебень изверженных эффузивных горных пород
1200	≤16	≤9
1000	17—20	10—11
800	21—25	12—14
600	26—34	—

состав, форму зерен (количество лещадных и игольчатых зерен), шероховатость поверхности, количество и качество примесей (глинистых, органических и других веществ), количество смятых (раздробленных) зерен, физические свойства щебня (плотность и объемную массу, пустотность, влажность, водопоглощение, морозостойкость) и механические свойства — прочность при расколе, растяжении, ударе, раздавливании в цилиндре, износ в барабане и др.

По ведущим показателям в зависимости от использования щебень делят на марки. Так, по показателям прочности при износе (истираемости) в полочном барабане щебень подразделяют на четыре марки (табл. 9).

Определение качества щебня по показателю прочности при сжатии исходной горной породы является весьма приближенным, так как показатель прочности зависит не только от качества исходной породы, но и размеров, формы и других признаков щебня. Поэтому в последнее время прочность щебня определяют косвенно по показателю дробимости.

Марку щебня из осадочных пород по дробимости его при сжатии (раздавливании) в цилиндре определяют следующими показателями (табл. 10).

Прочность (марку) щебня из изверженных и метаморфических пород по дробимости его при сжатии (раздавливании) в цилиндре определяют по табл. 11.

Таблица 12

Марка щебня	Дробимость (потеря в весе при испытании), %
У-75	>75
У-50	75—50
У-40	49—40

Прочность щебня, как балластного материала для железнодорожных путей, определяют по показателю дробимости на копре ПМ и подразделяют на три марки (табл. 12).

Непосредственно прочность щебня можно определить испы-

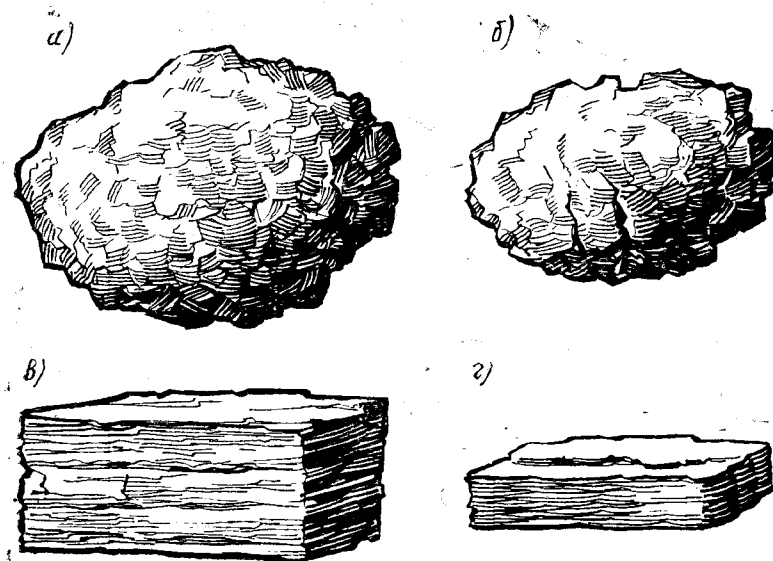


Рис. 23. Бутовый камень:

а, б — рваный; в — постелистый; г — лещадный

танием на раскол на гидравлическом прессе между двумя взаимно-направленными конусами.

Бутовый камень (бут) получают при разработке карьеров посредством отделения кусков породы взрывом или применением ударных инструментов (перфораторы, кирки, лом и др.). При разработке песчаников, известняков и других пород пластового залегания и трещиноватых крупные отдельности отделяют экскаваторами с последующей развалкой кусков до требуемых размеров камнекольными инструментами.

Бутовый камень (рис. 23) имеет неправильную форму и различные размеры, но не более 50 см по наибольшему измерению. По форме бутовый камень делят на бут постелистый, плитняковый и пиленный (1-й сорт), бут рваный (2-й сорт).

Наиболее удобны для выработки бутового камня различные плитовидные и слоистые породы. Бутовый камень употребляют для кладки фундаментов, мостовых устоев, укрепления откосов насыпей и берегов рек, кладки подпорных стен. Кроме того, бут может идти для дальнейшего раскола на шашку для мощения и дробления на щебень. Выбор породы для приготовления бутового камня производят в зависимости от его назначения. Так, например, бут для кладки лучше брать постелистый или плитняковый, который получают из слоистых пород. Свойства породы по прочности при сжатии, влагоемкости и погодоустойчивости должны соответствовать конструкции элементов сооружения. Например, для бутобетона бут должен быть рваный и изготовлен из однородных без трещин морозостойких пород с прочностью не ниже 350 кгс/см².

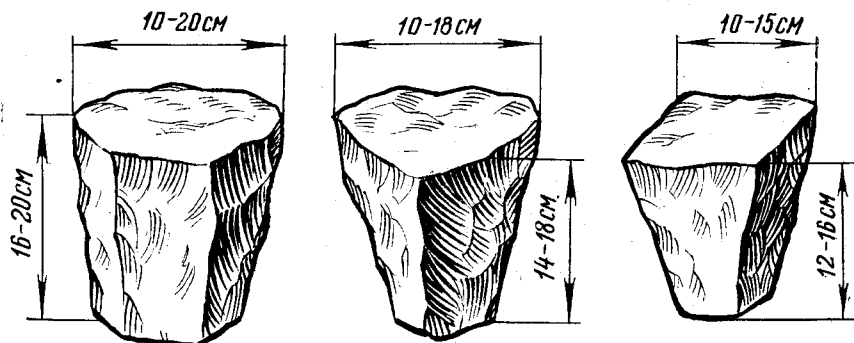


Рис. 24. Шашка для мощения

Объемная масса бутового камня, сложенного в штабеля, в среднем равна 1400 кг/см^2 , а для постелистого — 1700 кг/м^3 .

Грубоколотый камень получают из рваных кусков породы или валунного камня.

Шашка каменная для мощения (рис. 24) представляет собой грубоколотые камни неправильной формы, но приближающиеся к призме или усеченной пирамиде; лицо ее (верхняя сторона) должно иметь полигональное очертание, например четырехугольник или многоугольник. Постель (нижняя сторона) должна быть тупой, приближаться к параллели с лицом и вписываться в очертания лицевой стороны. Боковые грани не должны иметь резких выступов. Такого вида шашку применяют для обыкновенного мощения. Если шашка правильной формы имеет плоское лицо с параллельными длинными сторонами, она допускается для рядового мощения. По размерам шашка должна удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 13.

Высота шашки для бордюра должна быть на 4 см больше средней высоты шашки для мощения, причем площадь постели при мощении шашкой сорта А должна быть не менее 150 см^2 . Для укрепления откосов применяют крупную и очень крупную шашку высотой 25 и 30 см. Шашка для мощения может быть изготовлена из различных пород коренных и валунных месторождений. Лучший материал получается из однородных мелко- и среднезернистых пород, обладающих хорошей колкостью и достаточной прочностью. Для

Таблица 13

Размеры шашки	Высокая	Средняя	Низкая
Высота, см:			
средняя	18	16	14
предельная	16 и 20	14 и 18	12 и 16
Размеры по лицу, см	10 и 20	10 и 18	10 и 15
Площадь лица, не менее, см^2	100	100	100
Площадь постели, не менее, см^2	60	50	50

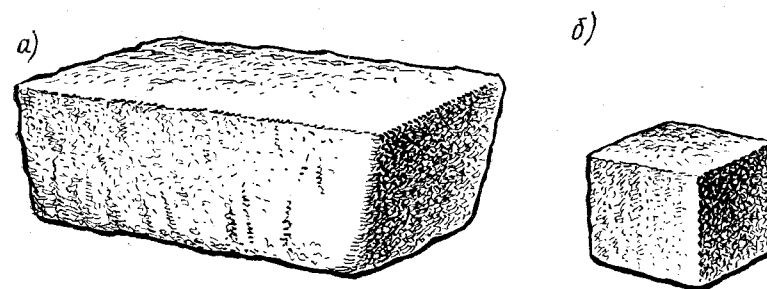


Рис. 25. Брусчатка и шашка для мозаиковой мостовой:

а — брусчатка; б — шашка

дорог с небольшой напряженностью движения, а также для устройства оснований шашку можно изготавливать из пород (местных материалов), характеризующихся прочностью не менее 700 кгс/см^2 .

Шашку для мощения изготовляют преимущественно ручной колкой кувалдами разного веса с заостренными одним или двумя концами. Выход скола и бракованной шашки достигает при этом 10—15%, которые используют для дробления на щебень.

Брусчатка представляет собой колотые и тесаные бруски камня, приближающиеся по форме к параллелепипеду, имеющие по лицу фигуру прямоугольника (рис. 25, а).

Верхняя и нижняя плоскости (лицо и постель) брусчатки должны быть параллельны. Боковые грани должны суживаться книзу так, чтобы величина скола у подошвы низкой брусчатки была с каждой стороны не более 5 мм, а у средней и высокой — не больше 10 мм. По размерам брусчатку делят на три сорта (табл. 14).

Шашка для мозаиковой мостовой (рис. 25, б) представляет собой колотые куски камня, приближающиеся к кубической форме и имеющие по лицу фигуру квадрата или прямоугольника. Верхняя и нижняя плоскости шашки должны быть параллельны, причем постель должна быть не меньше $\frac{3}{4}$ площади лица. По размерам шашку делят на два сорта (табл. 15).

Мозаиковую шашку и брусчатку изготовляют из однородных прочных и погодоустойчивых пород, обладающих хорошей обрабатываемостью с прочностью при сжатии не ниже 1000 кгс/см^2 .

Таблица 14

Наименование сорта	Ширина, см	Длина, см	Высота, см
Низкий	12—15	15—30	9—10
Средний	12—15	15—30	11—13
Высокий	12—15	15—30	14—16

Таблица 15

Сорт шашки	Высота, см	Ширина, см	Длина, см
Низкий	3—9	7—10	7—10
Высокий	9—10	8—11	8—11

Колку шашки производят на камнекольных машинах, которые представляют собой разновидность молота с фрикционным подъемом молотка. Работающий на камнекольной машине устанавливает болванку камня на клин наковальни, затем, нажимая ногой на педаль, приводит в движение шкивы, посредством которых поднимается молот. Опуская молот в первый раз с небольшой высоты, рабочий наносит на болванке насечку с двух противоположных сторон, после чего ударом молота с предельной высоты болванка раскалывается на две части. Если куски получаются с неровным расколом или больших размеров, их подвергают дополнительному скалыванию. Кроме мозаики, на камнекольных машинах производят развалку многократных¹ болванок и колку брусчатki.

Облицовочные плиты (рис. 26), а также блоки изготовляют из монолитов породы, которые разделяют в соответствии с необходимой формой и размерами, и из однородных по строению, прочных, погодоустойчивых горных пород, обладающих хорошей обрабатываемостью, а в необходимых случаях хорошей полируемостью и соответствующим рисунком.

Процесс изготовления включает следующие операции: развалку монолитов, грубую околку, полустую и чистую теску.

Развалку монолитов производят обычным способом при помощи клиньев (рис. 27) или распиловкой. Отколотые от монолитов болванки требуемых размеров подвергают грубой теске при помощи долот различной формы, наконечники которых делают из нехрупкой стали.

Для тески углов пользуются широким долотом — скампелью, обивку неровностей производят остроконечным долотом, которое называется спицей. Иногда для грубой тески употребляют тесовки массой 2—4 кг.

Полугрубую теску производят теми же инструментами, что и грубую теску, но, кроме того, применяют и молоток крупного номера с зубчатой насадкой (бучарда). Для чистой тески лицевых поверхностей бордюрных и облицовочных плит употребляют бучарду со средней и мелкой насечкой.

Для механической тески применяют механические молотки, которые в зависимости от назначения производят разное количество ударов в минуту (1600—3800) и имеют разные рабочие части

¹ В зависимости от того, сколько из болванки получается брусков, она носит название однократной, двух-, трех- и многократной.

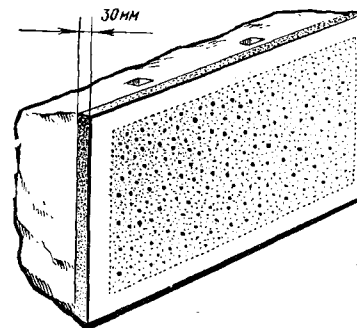


Рис. 26. Облицовочная плита (на гранях — гнезда для скоб и штырей)

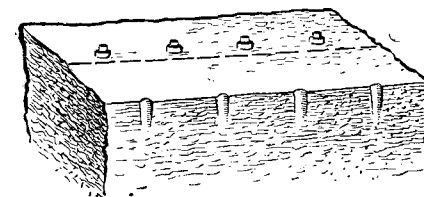


Рис. 27. Развалка монолита на болванки при помощи клиньев

(долота). Кроме молотков, применяют пневматические спицы и бучарды.

Бортовые камни применяют для устройства дорожных одежд в городских условиях; они служат для отделения проезжей части дороги от тротуара, обочин и др.

Бортовые камни представляют собой параллелепипедальные бруски длиной в среднем 75 см в поперечном сечении с наклонной или вертикальной лицевой гранью. Бортовые камни могут быть прямые и лекальные; верхняя часть их, выступающая над дорожным покрытием, обтесана чисто, а нижняя часть грубо. По размерам бортовые камни бывают: низкие — 30 см и высокие — 40 см с шириной поверху 10, 15 и 25 см (рис. 28).

Камни для облицовки могут быть плитообразные (толщиной 15—25 см) и утолщенные с пирамидальной хвостовой частью (толщина не менее 30 см).

Камни ледорезные должны иметь точечную или бороздчатую фактуру. Форму и размеры устанавливают требованиями проекта ледореза.

Плиты парапетные и карнизные для мостов и набережных изготавливают следующих размеров:

парапетные длиной 100—200 см, шириной не менее 90 см и толщиной 20—30 см;

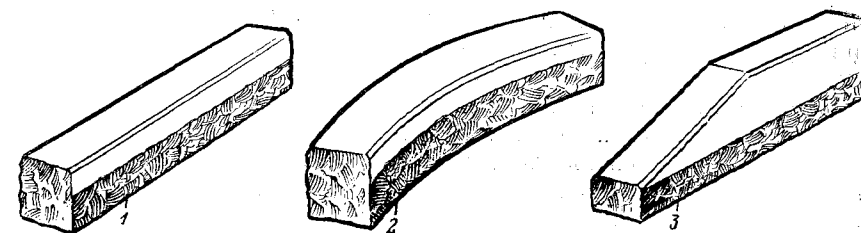


Рис. 28. Бортовой камень:
1 — прямой; 2 — лекальный; 3 — для съездов

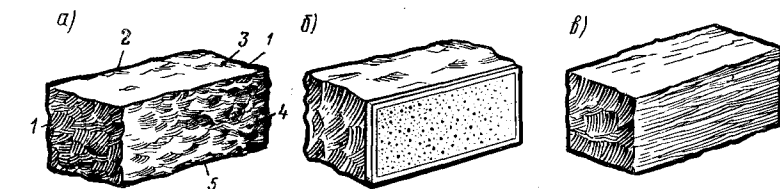


Рис. 29. Блоки:

а — колотый; б — тесаный; в — пиленый;
1 — боковые поверхности-заусенки; 2 — хвост; 3 — верхняя поверхность (постель);
4 — лицо; 5 — нижняя поверхность (постель)

карнизные длиной 100—200 см, шириной не менее 50 см толщиной 20—30 см.

Плиты тротуарные изготавливают из слоистых и сланцеватых горных пород. Они должны иметь форму прямоугольной или квадратной плиты размером от 20 до 80 см с относительно ровной поверхностью лица и постели толщиной не менее 4—5 и не более 12—15 см.

Блоки и плиты для кладки цоколей и сводов, для облицовки набережных, мостовых устоев и быков. Тщательной обработке их подвергают обычно с лицевой стороны.

В блоках различают (рис. 29) переднюю сторону — лицо, нижнюю и верхнюю поверхности — постели, боковые поверхности — заусенные плоскости или заусенки и заднюю поверхность (если она не отесана) — хвост.

Характер обработки лицевой поверхности носит название **фактуры**, которая по способу обработки может быть абразивной и ударной. Различают следующие абразивные фактуры: пиленую — гладкую с тонкими штрихами, шлифованную — тонкошероховатую, шероховатую, лощеную — гладкую с бархатистым блеском и зеркальную — гладкую с зеркальным блеском.

Ударные факторы бывают: скала — со сколом камня, образующим бугры и гребни без следов инструмента; бугристая — с равномерным чередованием бугров и впадин со следами инструмента; рифленая — поверхность с непрерывным параллельными бороздами; бороздчатая — с параллельными прерывистыми буграми и точечная — грубошероховатая (рис. 30).

Для нанесения рисунков и надписей на полированную лицевую поверхность укрепляют металлический шаблон с вырезанным рисунком или надписью, при этом незащищенные шаблоном места вырабатывают струей кварцевого песка с помощью пескоструйного аппарата.

Чтобы облицовочные плиты и блоки имели ровную и полированную поверхность, их подвергают шлифовке и полировке при помощи специальных шлифовальных станков. Шлифовка камня производится чугуном бруском или диском с подсыпкой стального или корундового порошка.

Абразивы или материалы, служащие для резки, шлифовки и полировки, могут быть природные и искусственные. Употребляют сле-

дующие абразивы: природные — кварц, корунд, наждак, алмаз и искусственные — карборунд, алунд, стальмасса.

Кварц применяют обычно в виде чистого кварцевого песка крупностью до 1 мм. Корунд — минерал, состоящий в основном из кристаллической окиси алюминия. Наждак содержит 20—50% зерен корунда в тесной связи с магнетитом. Карборунд — сплав углерода и кремния при $t=1900-2200^{\circ}\text{C}$ состоит из карбида кремния; по твердости он несколько выше корунда. Алунд (искусственный корунд) по составу аналогичен корунду и получается электроплавкой, почему иногда носит название электрокорунда. Стальмассу получают из каленой углеродистой стали и чугуна с последующим дроблением их на станках.

Для ускорения шлифовки применяют шлифовальные круги и бруски. Обычно работы по шлифовке и полировке состоят из следующих последовательных операций: обдир (грубая шлифовка), шлифовка, лощение (тонкая шлифовка), мастичение и полировка.

Обдир ведут мокрым способом при помощи тонкого слоя шлама и отходов стальмассы. В процессе грубой шлифовки поверхность камня время от времени смазывают отходами или свежей стальмассой. Шлифовку производят зерновым абразивом (корундом или карборундом) с периодическим увлажнением. Окончательная обработка ведется пемзой или карборундовым кругом (или бруском). Тонкую шлифовку производят тонким зерновым абразивом. После лощения перед полировкой производят мастичение поверхности

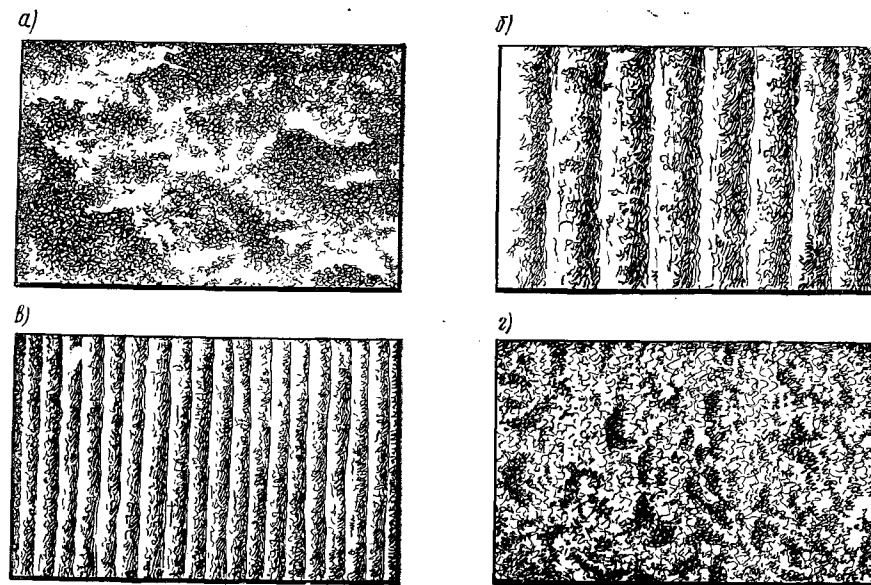


Рис. 30. Виды ударной фактуры камня:

а — бугристая; б — бороздчатая; в — рифленая; г — точечная

камня, которое заключается в закрытии мелких дефектов шеллачной мастикой горячим способом. Наконец, полировка достигается путем накатки тщательно промытой поверхности полирующими порошками при помощи войлочных полировальных дисков. В качестве полирующих порошков применяют: окись олова, окись хрома, окись железа, свинцовые опилки, азотнокислое олово и др.

§ 12. ПРЕДОХРАНЕНИЕ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ КОРРОЗИИ¹

Каменные материалы, подвергаясь длительному воздействию климатических и других природных факторов среды, в которой работает материал, постепенно корродируют (разрушаются), превращаясь в конечном счете в дресву и далее песчано-глинистый продукт.

Многократное увлажнение и высыхание, замерзание и оттаивание, влияние воздуха, биосферы, минерализованных вод ослабляют кристаллизационные связи в горной породе, разрушают неустойчивые минералы, выщелачивают растворимые соединения, в результате в материале образуются микротрещины, минералы утрачивают блеск, затем появляются затеки новообразований и порода постепенно разрушается. Чем больше внешняя и внутренняя (поры, микротрещины, каверны) поверхность материала, чем большее содержание погодонеустойчивых минералов, чем более шероховата поверхность, тем интенсивнее протекает процесс коррозии.

Материалы из карбонатных пород — известняков, доломитов, мраморов, а также пород крупнокристаллической, пегматитовой, порфировой структуры, сланцеватой текстуры с неустойчивым природным цементом менее погодоустойчивы, относительно быстрее корродируют.

Элементы сооружений из крупных блоков, плит, находящиеся под воздействием перечисленных факторов среды, в необходимых случаях защищают от возможной коррозии различными способами. Прежде всего каменный материал по возможности следует поставить в такие условия, чтобы устранить или уменьшить его поверхность, соприкасающуюся с факторами среды.

Устранение в конструктивном элементе выступов, придание каменному материалу гладкой или полированной поверхности, кольматация пор в значительной мере увеличивают погодоустойчивость. Для кольматации пор, микротрещин применяют кремнийорганические вещества, пасты и др.

Для обработки поверхности каменных материалов с целью защиты от коррозии применяют силикаты, флюаты и др. При силикатировании поверхность каменного материала обрабатывают раствором растворимого стекла с последующим введением кремнийфтористого натрия, окиси свинца.

Защиту от коррозии материалов из карбонатных пород осуществляют флюатами или тесталинами. При флюатировании поверхность материала покрывают флюатом (соли магния, цинка, алюминия и свинца, кремнистоводородной кислоты). Так, например, при применении магниевого флюата на поверхности карбонатной породы образуются труднорастворимые в воде фтористый кальций, фтористый магний и кремнезем.

Каменные материалы из кислых пород предварительно обрабатывают составами, в которые входят образующие с флюатом нерастворимые в воде соединения. В качестве аванфлюата применяют известковую или иную соль.

При обработке поверхности тесталином вначале применяют спиртовой раствор калийного мыла, а затем раствор уксуснокислого глинозема. В результате взаимодействия этих солей образуется труднорастворимая в воде алюминиевая соль жирной кислоты. Тесталин рекомендуют применять при защите каменных материалов из песчаников.

В последние годы начали применять для защиты от коррозии поверхности каменных конструктивных элементов различные пленкообразующие (светлые и окрашенные) полимерные материалы.

§ 13. Рыхлые горные породы как строительный материал

Рыхлые горные породы образуются в результате выветривания скальных горных пород. Продукты выветривания, состоящие из обломочного материала разной крупности, переносятся от мест своего образования речными и ледниковыми водами, ледниковым льдом, озерными и морскими водами, а мелкие зерна — ветром. В процессе переноса и отложения породы продукты выветривания в той или иной мере сортируются или загрязняются примесями других пород, находящимися на пути перемещения материала.

Состав в качестве рыхлых обломочных пород и степень загрязнения их примесями в месторождениях зависит от петрографического состава исходных пород, характера процессов выветривания, условий переноса и отложения.

По происхождению (генезису) рыхлые обломочные горные породы могут быть: *речные* или *аллювиальные* (русловые, пойменные и дельтовые осадки), *водно-ледниковые* или *флювиогляциальные* (зандровые, озово-камовые и моренные), *озерные* и *морские* (прибрежные и глубинные) и *ветровые* или *золые* (дюнные, барханные, бугристо-кучевые и грядовые). По крупности окатанных обломков, составляющих рыхлые горные породы, для дорожно-строительных работ их условно делят на валуны крупнее 150 мм, гальку 150—70 мм, гравий 70—5 мм и песок мельче 5 мм.

1. **Валунный камень.** Валунным камнем называют грубоокатанные преимущественно округлой формы обломки скальных горных пород размером более 150 мм. Качество валунного камня обуславливается петрографическим составом породы, крупностью и формой обломков, а также степенью выветрелости. По условиям залегания

¹ Коррозия — разрушение материала, распространяющееся с поверхности под воздействием физико-химических процессов факторов среды.

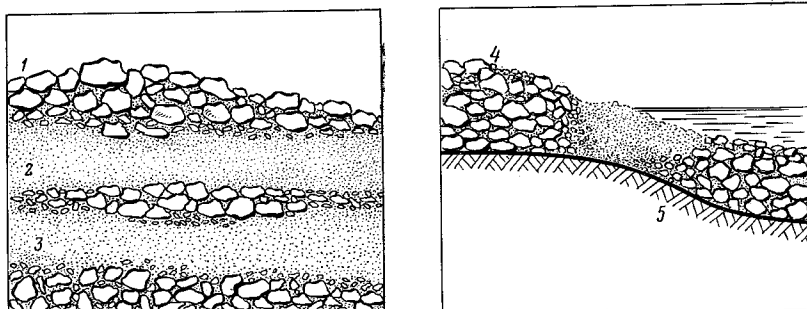


Рис. 31. Схема залегания валунно-галечниковой породы:
1 — верховое; 2 — линзовое; 3 — низовое; 4 — береговое; 5 — донное

валунный камень (рис. 31) может быть *верховой (или полевой), низовой (недровый), речной (горные реки), морской и озерный (прибрежный и донный или глубинный)*.

Лучшим по качеству (свежести) бывает валунный камень изверженных пород низовой и донный, находящийся длительное время под слоем грунта или под водой, где он лучше защищен от выветривания.

Валунный камень, отложенный на поверхности земли, обычно более затронут выветриванием, вследствие чего качество его ниже за счет большего количества отходов при предварительной сортировке собранного валуна и дальнейшей его колке и дроблении.

Валуны мелких размеров до 25 (30) см называют *сырцом*, так как их можно применять для дорожных работ (например, мощения) непосредственно, без дополнительной обработки. Более крупные валуны используют для получения каменного материала (шашки, щебня) путем раскалывания и дробления. В зависимости от назначения к валунному камню-сырцу, а также каменной продукции, получаемой при переработке валунов, предъявляют и соответствующие технические требования.

2. Гравий. Гравием называют рыхлое скопление в разной степени окатанных обломков горных пород и минералов, преобладающий размер которых 5—70 мм.

В месторождениях так называемый карьерный гравий может залегать в виде сплошных скоплений, отдельных слоев, линз, гнезд и содержать различное количество примесей в виде галечника, песка, глинистого вещества. Наиболее загрязнен примесями моренный гравий. Более рентабельны для разработки сплошные покровные отложения гравия.

В зависимости от времени образования различают *современный* гравий (например, речной или аллювиальный) и *древнего происхождения* (например, гравий моренный и озово-камовый древнеледникового происхождения).

Петрографический состав гравия, форма зерен и степень их окатанности зависят от литологической характеристики мест его обра-

зования, условия переноса обломочного материала. Так, например, в Ленинградской обл. карьерный гравий состоит из окатанных обломков диабазов, кварцитов, кристаллических сланцев и других пород, месторождения которых находятся в северных районах страны.

Добытый в карьере гравий (так называемый рядовой) может содержать различное количество песчаного материала. В том случае, когда добытый гравийный материал содержит песка более 50%, его называют гравийно-песчаным. Крупный рядовой гравий состоит из зерен 5—70 мм и средний рядовой гравий — от 5 до 40 мм.

Карьерный гравий после перегрохотки и отделения песка носит название *сортового*, который разделяют на следующие фракции:

Крупный с размером зерен	70—40 мм
Средний »	40—20/25 »
Мелкий с размером зерен	20/25—10/15 мм
Очень мелкий с размером зерен	10/15—5 мм
Гравийный песок с размером зерен	< 5 мм

Свойства гравия, как строительного материала, могут быть заметно улучшены за счет добавления к нему до 30% дробленого галечника или крупного гравия.

Качество гравия определяют по петрографическому составу пород, крупности и гранулометрическому составу, форме и степени окатанности зерен, их выветрелости и физико-механическим свойствам (прочности, водным свойством, морозостойкости и др.).

Гравийный материал как рядовой карьерный, так и фракционированный сортовой применяют для устройства гравийных дорожных покрытий, гравийных конструктивных слоев дорожной одежды, в качестве балластного слоя для железных дорог, для устройства дренажных сооружений, в качестве крупнозернистой составляющей в цементобетоне и гравийно-битумных (дегтевых) смесях. Дробленный гравий применяют как щебень для приготовления асфальтобетона и других работ. В зависимости от назначения к гравийному материалу предъявляются и соответствующие технические требования.

Для дорожно-строительных целей гравийный материал делят на четыре марки (класса) в соответствии с классификацией его по ведущим признакам — петрографическому составу и прочности (табл. 16).

Валунный камень и гравий добывают различными способами в основном в зависимости от условий залегания породы. Так называемые *верховые* или *полевые* месторождения породы представляют собой значительные скопления обломочной породы на поверхности земли; добыча в этом случае заключается в сборе валунного камня, доступного для этого размера, и доставке его на площадки для дальнейшей переработки, а гравия — на сортирующие устройства или непосредственно на строительные объекты. *Речной* валунный камень и гравий добывают так же, как и верховые отложения.

Таблица 16

Петрографическая характеристика гравия	Класс гравия по прочности	Марка гравия по дробимости при сжатии (раздавливании в цилиндре)	Марка гравия по износу (истиранию) в полочном барабане
Гравий состоит из окатанных зерен средне- и мелкокристаллических изверженных пород и кристаллических сланцев, мраморовидных известняков, кварцевых песчаников или из смеси этих пород	1	Др. 8	И-20
Гравий состоит из окатанных зерен крупнокристаллических изверженных пород, кристаллических сланцев, известняков, песчаников или из смеси этих пород	2	Др. 12	И-30
Гравий состоит из перечисленных выше пород, слабо затронутых выветриванием	3	Др. 16	И-45
То же, но со значительными признаками выветривания	4	Др. 20	И-55

Верховой и речной валунный камень и гравий могут быть затронуты выветриванием, что вызывает необходимость сортировки добытой породы по степени выветрелости. Валунный камень по этому признаку сортируют по внешним признакам, а гравий — с помощью сепарирующих машин (например, классификаторов) после его разгрохотки по фракциям.

Низовой или *карьерный* валунный камень и гравий залегают обычно пластами; линзами или гнездами в смеси с песком или глинистыми породами различной толщи. Добыча полезного слоя в этих случаях сопряжена с необходимостью выполнения вскрышных работ, а также освобождения добытого валунного камня или гравия от примесей с учетом, что песчаные примеси являются, как правило, доброкачественным песком для дорожных работ.

Скопление валунов и гравия на дне озер и прибрежной части морей называют *озерными* и *морскими* месторождениями. В этом случае породу добывают механическими лопатами или плавучими средствами.

3. Песок. Песком называют рыхлые зернистые породы, состоящие из зерен минералов с преимущественным размером от 0,15 мм, с примесью пылевато-глинистого вещества. В зависимости от минералогического состава различают пески кварцевые, слюдяные (с содержанием чешуек слюды свыше 1%), глауконитовые (с примесью глауконита более 0,5%), аркозовые, содержащие значительное количество зерен полевых шпатов, железистые (с примесью железистых соединений), ракушечные, содержащие значительное количество обломков ракушек, гумозные (с содержанием органических соединений более 0,5%) и др. (рис. 32).

Классификация песков по крупности и гранулометрическому составу для строительных работ приведена в табл. 17.

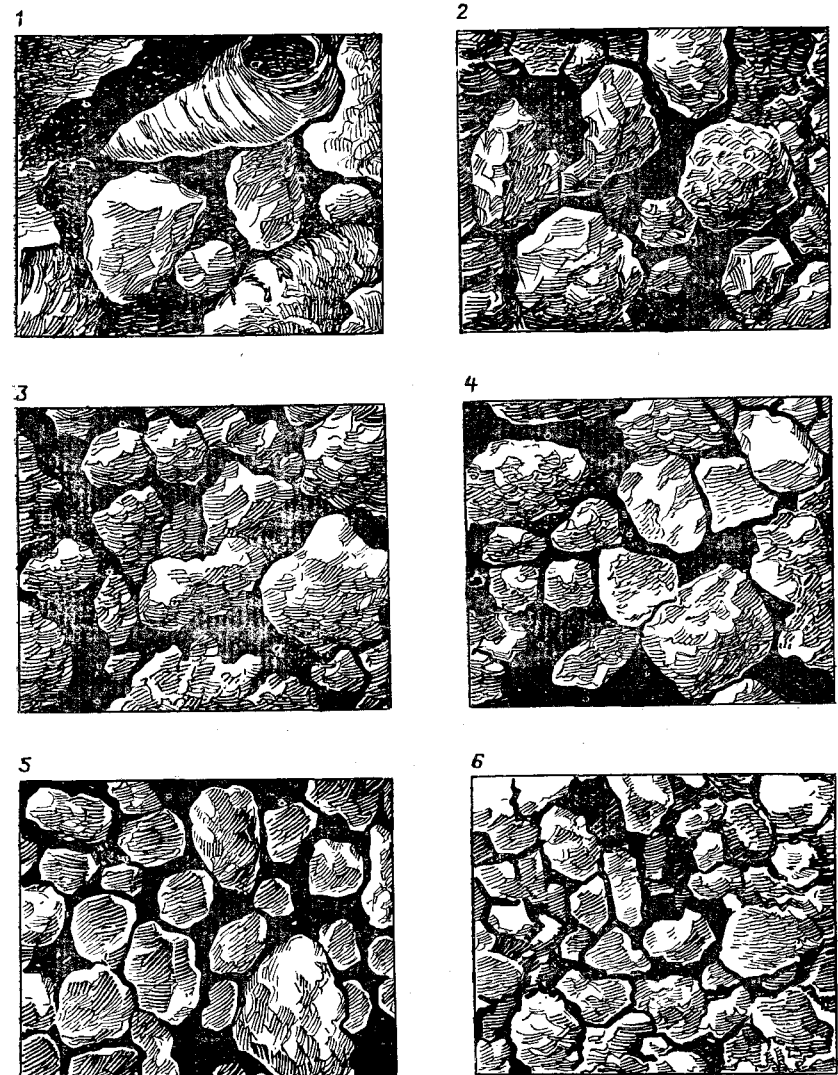


Рис. 32. Форма зерен природного песка:

1 — морской крупнозернистый кварцево-ракушечный; 2 — железисто-кварцевый крупнозернистый; 3 — кварцевый крупнозернистый каолинизированный; 4 — кварцево-полевошпатовый крупнозернистый; 5 — кварцевый мелкозернистый; 6 — кварцевый очень мелкозернистый

Качество песка для строительных работ определяют минералогическим составом, формой зерен, крупностью, гранулометрическим (зерновым) составом и отдельно содержанием глинисто-пылеватых частиц, плотностью, объемной (насыпной) массой, пустотностью, фильтрационной способностью, влажностью и содержанием органических примесей.

Таблица 17

Группа песка	Модуль крупности M_k^*	Полные остатки на сите № 0,63, %
Крупнозернистый	3,5—2,4	50—70
Среднезернистый	2,5—1,9	35—50
Мелкозернистый	2,0—1,5	20—35
Очень мелкозернистый	1,6—1,1	7—20
Тонкозернистый	<1,0	<7

* Для определения гранулометрического (зернового) состава среднюю пробу сухого песка массой 1 кг просеивают сквозь набор сит (5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14). Остатки на каждом сите называют *частными остатками*. *Полным остатком* считают сумму частных остатков с большим размером плюс остаток на данном сите, выраженный в процентах. *Модуль крупности M_k* вычисляют как частное от деления на 100 суммы полных остатков на всех ситах, начиная с сита с размером отверстий 0,14 мм. Модуль крупности вычисляют с точностью 0,1. Модуль крупности носит условный характер и не всегда отражает качество песка.

Таблица 18

Категория	Стадия выветрелости	Внешние признаки выветрелости	Объемная масса	Водопоглощение по массе, %	Морозостойкость Мрз 25	Предел прочности, кгс/см ²	
						при сжатии	при расколе
0 I	Свежая Весьма слабая	Гранит По внешним признакам выветрелость не обнаруживается. Ослаблены лишь кристаллизационные связи	2,63	0,3	+	>1500	150—225
			2,60—2,63	0,3—0,5	+	900—1500	100—150
II	Слабая	Слабое потускнение минералов и небольшие ржавые и белесые налеты	2,55—2,60	0,5—0,7	+	650—900	70—110
III	Средняя	Значительное побурение породы, появление микротрещин (дресва)	2,30—2,55	0,7—1,5	+, —	300—650	25—75
IV	Значительная	Порода явно трещиноватая с заметными бурыми и белесыми налетами с трудом разламывается руками (дресва)	2,00—2,30	1,5—2,5	—	100—300	10—25
V	Весьма значительная	Рыхловатая дресва буроватого цвета легко разламывается руками на угловатый микротрещиноватый щебень	<2,00	>2,5	—	<100	<10

Песок применяют для устройства подстилающих слоев дорожной одежды, для приготовления строительных растворов, цемента и асфальтобетонов, для устройства дренажей и др.

Для улучшения качества мелкозернистого песка его обогащают добавками искусственного (дробленого) песка.

Дробленый песок (крупность зерен менее 5 мм) изготавливают из невыветрелых изверженных и метаморфических пород прочностью более 800, осадочных пород более 400 и из гравия прочностью в табл. 18.

4. Дресва (жерства). Дресвой называют промежуточный продукт выветривания скальных горных пород, оставшийся на месте образования и сохранивший еще камневидное состояние. Дресва в месторождениях может залегать в виде поверхностного слоя выветривания различной мощности, в виде гнезд и прослоев в более глубоких слоях и, наконец, в виде рыхлой осыпи (хрящ).

Различные стадии выветрелости гранита, по исследованиям М. М. Подъяконова, характеризуются признаками, приведенными в табл. 18.

Известняковая дресва рыхлотрещиноватая и содержит заметное количество мергелистых примесей; она обычно малой прочности и недостаточно морозостойка. При разрушении песчаников происходит заметное ослабление кристаллизационных связей, увеличение пористости и снижение прочности. Поэтому песчаниковая дресва состоит из трещиноватых обломков породы малой прочности с примесью загрязненного песка.

Дресва является местным каменным строительным материалом и в зависимости от вида исходной горной породы, а также стадии ее выветрелости может применяться для устройства различных слоев одежды на дорогах местного значения. Однако для верхних слоев дорожной одежды дресва непригодна вследствие малой прочности и недостаточной погодостойчивости.

§ 14. ПРИЕМКА КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Количественную приемку заготовленного каменного материала в зависимости от различных условий производят на месте добычи, на складах и на месте работ. Пригодность каменных материалов определяют непосредственно в карьере, что исключает возможность доставки на место работ недоброкачественных каменных материалов.

Приемку дробленых и колотых каменных материалов рекомендуется производить по массе, так как при этом устраняется возможность неправильного определения количества материала за счет пустотности. Особенно удобно принимать каменные материалы по массе, если они транспортируются в железнодорожных вагонах. Для перевода массы каменных материалов на объем необходимо определить объемную массу камня.

В том случае, если нельзя организовать приемку по массе при сравнительно небольших объемах, каменный материал принимают

по объему. Для этого на ровной чистой площадке камень выставляют в виде штабелей правильной формы, высотой до 1 м, шириной 1—5 м и длиной не более 10 м. Материал в штабель укладывают возможно плотнее (не наброской). При определении объема штабеля измеряют в нескольких местах его длину и ширину и берут среднее арифметическое из суммы верхнего и нижнего размеров. Высоту штабеля определяют рулеткой в нескольких местах.

Штучный каменный материал — брусчатку, шашку, мозаику — принимают на квадратные метры (или поштучно) посредством выкладки брусков в штабеля правильными горизонтальными рядами с укладкой всех брусков лицом вверх. Площадь верхнего и нижнего горизонтальных рядов измеряется с точностью до 1 см; отбор проб для качественной оценки производят в количестве 25 брусков на каждые 700—1000 м³; полусумма этих измерений, умноженная на количество рядов, дает площадь брусков в данном штабеле. Бортовые камни принимают на погонные метры (по длине).

При приемке шашки для мощения количество материала проверяется путем обмера штабелей, размер которых устанавливают в зависимости от того, где производят приемку (в карьере или на трассе). В случае приемки камня по массе устанавливаются переводные коэффициенты с объема на массу породы и сорт камня.

Качество штучных каменных материалов определяют по выдержанности размеров (формы) и характеру обработки. Количество колотого и тесаного каменного материала, не удовлетворяющее требованиям ТУ, не должно быть более 10%.

ГЛАВА III

Искусственные каменные строительные материалы и изделия (с обжигом)

§ 15. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА¹

Строительные изделия, полученные в результате переработки глиняных масс с необходимыми добавками с последующим обжигом сформованных изделий, называют *керамическими*. По текстуре и окраске черепка (поверхности излома) керамические изделия могут быть: *пористые* (водопоглощение более 5%) с окрашенным изломом и *плотные* (водопоглощение менее 5%), как правило, с белой окраской.

Пористые керамические изделия относят к *грубой керамике* (строительная керамика) — клинкер, строительный кирпич, трубы, черепица, а плотной текстуры — к *тонкой керамике* — фарфоровые и фаянсовые изделия.

Изделия из строительной керамики в зависимости от назначения подразделяют на:

¹ Керамикос (греч.) — глиняный.

стенные материалы (глиняный кирпич, легковесный и пустотелый кирпич и др.);

керамические изделия для облицовки фасадов зданий и внутренней облицовки (кирпич лицевой, ковровая керамика, плитки);

кровельные керамические материалы (черепица ленточная, пазовая и др.);

трубы керамические канализационные и дренажные, керамический гравий (керамзит) и щебень (керамдор) для приготовления бетонов, керамические тротуарные плитки, клинкер.

Производство керамических изделий было известно уже в глубокой древности. От Египта и древнеазиатских народов гончарное производство перешло в Грецию, а затем в Италию. Изделия из обожженной глины изготавливали и в древней Руси. Однако с древнейших времен развитие керамического производства было направлено преимущественно на удовлетворение бытовых нужд. Гончарные и фаянсовые изделия России получили мировую известность уже в XVIII веке.

Изделия из строительной керамики долгое время ограничивались производством строительного кирпича. К числу первых научных исследований относятся работы Форхгаммера в области изучения состава керамических масс и Зегера — в исследовании температурных свойств глин и открытия им ряда глазурей.

Значительное улучшение технологии керамического производства и переход от кустарного к механизированному способу произошло только к середине XIX века. Производство в России кирпича, черепицы и других изделий строительной керамики до 1924 г. было преимущественно полукустарным.

Керамическая промышленность в СССР начала быстро развиваться в довоенный период и уже в 1940 г. по основному виду — строительному кирпичу — достигла 7 млрд. шт., заняв первое место в мире. Больших успехов достигла отечественная керамическая промышленность в последние годы по росту производства, значительно расширился ассортимент изделий и увеличился выпуск облицовочной и специальной строительной керамики. Это стало возможным в результате значительного развития исследований научных организаций в содружестве с производством и, в частности, старейшего Ленинградского научно-исследовательского керамического института, организованного в 1919 г.

Благодаря работам акад. В. И. Вернадского, проф. А. П. Земятченского, проф. Л. В. Пустовалова, проф. Виличицкого и многих других ученых исследования и получили дальнейшее развитие работы по изучению многочисленных месторождений глин и другого керамического сырья. Для коренного улучшения технологии изготовления керамических изделий в последние годы многое сделано советскими учеными Е. Н. Орловым, Я. А. Соколовым, Б. С. Швецовым, П. П. Будниковым, Г. В. Куколевым, А. В. Волженским и другими, а также новаторами производства П. А. Дувановым, И. Я. Мазовым, И. Г. Мукосовым, И. Г. Картавцевым.

§ 16. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Все сырьевые материалы, применяемые для производства керамических изделий, делят на *пластичные* и *непластичные*. К пластичным материалам, которые служат основным исходным сырьем, относятся различные глины и суглинки. Непластичные материалы обычно служат добавками к глинам для придания последним необходимых технических свойств. Добавки могут быть:

отошающие — для регулирования пластичности, уменьшения усадки, улучшения процессов сушки и обжига сырцовых изделий. В качестве отошающих добавок применяют песок, шамот и др. Шамот производят обжигом тугоплавких глин при температуре до 1400° С с последующим измельчением обожженного материала;

уплотняющие (плавни) — для улучшения спекания сырьевых изделий и для снижения температуры спекания. В качестве плавней используют размолотые полевой шпат, тальк, доломит, нефелиновые сланцы и др.;

порообразующие (древесные опилки, торф, зола и др.), которые прибавляют в глиняную массу для образования пористого тела обожженного изделия. Эти добавки снижают объемную массу изделий, улучшают процесс обжига, а также снижают пластичность.

Глины, их состав и свойства. Глинами называют осадочные горные породы, которые образовались в результате глубокого выветривания (разрушения под воздействием физико-химических и биологических процессов) преимущественно полевошпатовых горных пород. *Первичные* или *элювиальные* глины отложены на месте своего образования и обычно содержат примесь грубых остатков пород, из которых они произошли (хрящ, песок и др.). *Вторичные* переотложенные глины образовались как результат переноса водой, ледниками, ветром и отложенные на более или менее отдаленных местах от формирования первичных глин. Эти глины более дисперсны и, как правило, не содержат грубых механических примесей. Глины же ледникового происхождения (моренные) обычно засорены примесями грубых механических обломов горных пород в виде песка, валунчиков и др.

По минералогическому составу глины состоят из коллоидно-раздробленных водных алюмосиликатов: каолинитов ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$), монтмориллонитов ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и иллитов ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) с примесью кварца, карбонатов кальция и магния, полевых шпатов, железистых и других соединений.

Каолинит слабо набухает в воде, характеризуется малым поглощением и легко отдает воду при сушке. Монтмориллонит поглощает значительное количество воды при увлажнении, набухает и медленно отдает воду при подсушивании. Иллит при увлажнении не набухает и по свойствам занимает среднее положение между каолинитом и монтмориллонитом. В зависимости от преобладающего содержания названных минералов глины называют каолинистыми, монтмориллонитовыми, иллитовыми.

По зерновому (гранулометрическому) составу глины характеризуются значительным содержанием глинистого вещества (частиц размером менее 0,005 мм).

Глины бывают различными по генезису, минералогическому и гранулометрическому составам, чем обуславливаются цвет, текстура и свойства. В зависимости от химического состава глины имеют белый, желтый, серый, зеленоватый и другие цвета.

В зависимости от количества механических примесей различают глины: *жирные* — со значительным содержанием глинистых частиц; *тощие* — с заметным содержанием песчаных и пылеватых частиц.

По применению в керамической промышленности глины делят на фарфоровые, фаянсовые, клинкерные, кирпичные и т. д. Качест-

во глины определяют пластичностью, огнеупорностью, интервалом плавкости, цветом после обжига и другими показателями.

Пластичность глины — наиболее характерное свойство, определяющее ее отношение к формованию. Пластичностью называют свойство глиняного теста (глиняная масса, затворенная водой) изменять свою форму без разрыва и нарушения сплошности под влиянием механических усилий и сохранять приданную форму после прекращения их действия. Пластичность глин зависит от минералогического состава и степени дисперсности. Чем больше дисперсность и чем больше содержится глинистого вещества, тем выше пластичность глины. Жирные глины обладают хорошо выраженной пластичностью, связностью и легко поддаются формованию, тощие же глины малопластичны, плохо формуются и обладают малой связностью при высыхании.

Для придания пластичного состояния жирным глинам требуется значительное количество воды; эту воду называют *водой затворения* (задельной). Глинистая масса при затворении водой *набухает*, т. е. увеличивается в объеме. Высыхание изделий из таких глин длится продолжительное время, при этом они уменьшаются в объеме (происходит воздушная *усадка*) вследствие сближения частиц глины и удаления пленок сорбированной воды. Неравномерная усадка приводит к растрескиванию и искривлению изделий. Тощим глинам требуется меньше воды затворения; они быстрее высыхают, обладают сравнительно малой связностью и небольшой усадкой.

Пластичность глин может быть повышена различными способами, например добавлением более пластичных глин, вылеживанием, вымораживанием, выветриванием и отмучиванием. Уменьшение пластичности глин достигается добавлением к ним непластичных отощающих материалов, например песка, шамота и др. Добавки подбирают так, чтобы одновременно можно было улучшить, если это необходимо, пластические и термические свойства глин.

Огнеупорность называется свойство глин выдерживать действие высокой температуры без деформации. Огнеупорность характеризуется температурой или точкой плавления, т. е. тем температурным интервалом, при котором деформируется пробный пирамидальный (в виде конуса) образец из глины.

По огнеупорности глины делят на следующие группы:

Огнеупорные с температурой плавления	выше 1580°С
Тугоплавкие » » »	1580—1350°С
Легкоплавкие » » »	ниже 1350°С

Подвергаясь действию высоких температур, глина претерпевает ряд физико-химических изменений, которые в конечном счете приводят к *спеканию*, а в дальнейшем — к *плавлению*. При спекании легкоплавкие вещества должны постепенно заполнить пустоты и прочно связать осто́в, состоящий из более тугоплавких элементов. В процессе спекания масса уплотняется, вследствие чего умень-

шается объем изделия и происходит так называемая *огневая усадка*.

Температура изделия из клинкерных глин, при которой черепок начинает уплотняться и обладать водопоглощаемостью 3—4%, называется *температурой спекания* (нижняя граница обжига). Дальнейшее повышение температуры вначале дает некоторое уплотнение черепка, а затем его деформацию — *плавление* (верхняя граница обжига). Температурный интервал между плавлением и спеканием называют *интервалом плавкости (густоплавкостью)*. Для изготовления клинкера, в частности, необходимо, чтобы интервал плавкости глины был не менее 80—100° С. Чем больше интервал плавкости, тем легче обжигать изделия, так как при температуре, необходимой для полного обжига, тугоплавкие вещества, составляющие твердый остов изделий, не деформируются, легкоплавкие же вещества (плавни) заполняют промежутки между частицами и прочно связывают остов в монолит.

Усадкой называют уменьшение объема глин, которое происходит при высушивании — *воздушная усадка* — и при обжиге — *огневая усадка*. Большую усадку глины считают отрицательным свойством, так как неравномерное изменение объема вызывает ряд деформаций изделия (искривления, трещины).

Усушкой называют свойство глины отдавать воду затворения при высыхании, что зависит от состава глины и плотности сырца. Усушка является одной из характеристик поведения глины при высушивании и определяется временем (в сутках), за которое образец, приготовленный из рабочей массы глины, достигает воздушно-сухого состояния.

Связность глины — способность ее в сухом состоянии оказывать сопротивление внешним силам, которые стремятся разъединить частицы глины. Высокой связностью обладают глины, содержащие повышенное количество глинистых частиц в определенном соотношении с пылеватыми и песчаными частицами. Глины с небольшим содержанием глинистых частиц, а также пылеватые глины имеют малую связность. Достаточная связность является необходимым условием при сушке и транспортировании сырца (необожженных изделий).

§ 17. КЛИНКЕР

Клинкером называют каменный материал, полученный из глины путем обжига до полного спекания без оплавления поверхности, с характерным металлическим звуком при ударе. Клинкер употребляют в различных областях строительства: для устройства дорожных покрытий и покрытий на тротуарах, полов, фундаментов, гидротехнических, облицовочных и других работ. В зависимости от назначения к клинкеру предъявляют различные требования в отношении формы, размеров и свойств.

По назначению различают две группы клинкерных изделий: изделия, подвергающиеся в элементах сооружений главным образом механическим нагрузкам (дорожный и тротуарный клинкер);

изделия, противостоящие в основном химическим воздействиям (кислотоупорный клинкер). Некоторые клинкерные изделия должны удовлетворять одновременно обоим условиям.

Клинкер дорожный представляет собой искусственный камень, имеющий обычно форму кирпича, изготовленный из глины путем обжига до полного спекания массы без остеклования поверхности и без деформаций. Дорожный клинкер обладает высокой прочностью, погодоустойчивостью и вязкостью; при ударе молотком издает металлический звук.

Производство клинкера

Подготовка глины. Глины, пригодные для изготовления дорожного клинкера, должны обладать тонкоземлистым сложением, хорошо формоваться и обладать связностью в сухом состоянии. Клинкерные глины спекают при температуре не выше 1200—1300° С. Интервал плавкости глин должен быть возможно большим, что обеспечивает получение при обжиге хорошо спекшегося, плотного и прочного изделия.

Клинкер-сырец изготовляют двумя способами:

способом *полусухого прессования*, заключающимся в том, что сырец изготовляют на прессах из глины при влажности, несколько большей пленочной влагоемкости (8—12%);

способом *пластичного (или мокрого) прессования*, состоящим в том, что сырец формуют из глиняной массы, увлажненной до пластичного рабочего состояния (влажность около 18—24%).

При способе *полусухого прессования* глину подвергают ряду последовательных подготовительных операций для придания ей необходимых свойств. От качества сырья и принятого технологического процесса производства на заводе зависят и способы подготовки глины, состоящие из следующих основных операций: сушки, измельчения, удаления камневидных примесей, смешения, увлажнения и прессования.

Сушка карьерной глины является необходимой операцией для получения однородной рабочей массы.

Измельчение глины. В зависимости от свойств глины применяют различное измельчающее оборудование и приспособления. Для предварительного размолва глинистых масс применяют вальцы с гладкой (рис. 33, а) или рифленной поверхностью, зубчатые вальцы (рис. 33, б) и др. Для глин, содержащих в своем составе валунчики, конкреции солей, применяют вначале камнеотделительные вальцы, которые имеют на валах винтообразную нарезку. При вращении в противоположные стороны двух цилиндров камни попадают в бороздку и постепенно выталкиваются в одну сторону по нарезке. Лучшая степень дробления и измельчения глины достигается применением нескольких пар вальцев, расположенных один под другим с постепенным уменьшением зазора, например первая пара имеет зазор 5—3 мм, а вторая 3—0,5 мм.

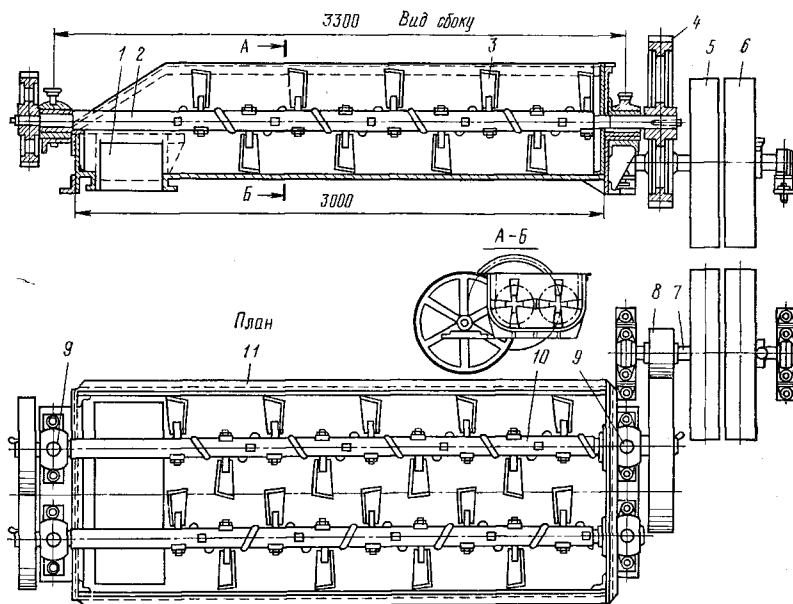


Рис. 35. Двухвальная глиномялка:

1 — патрубок для переработанной глины; 2 — ведомый вал; 3 — лопасть; 4 — большая шестерня; 5 — рабочий шкив; 6 — холостой шкив; 7 — приводной вал; 8 — малая шестерня; 9 — зубчатая передача; 10 — ведущий вал; 11 — корыто

Достаточно измельченная и подготовленная глина поступает в глиномялку, в которой ее перемешивают и увлажняют до потребной консистенции. При механизированном способе производства обычно применяют горизонтальные глиномялки разных типов (рис. 35). Из глиномялки глина поступает в ленточные прессы, которые используют при изготовлении клинкера пластичным способом (рис. 36).

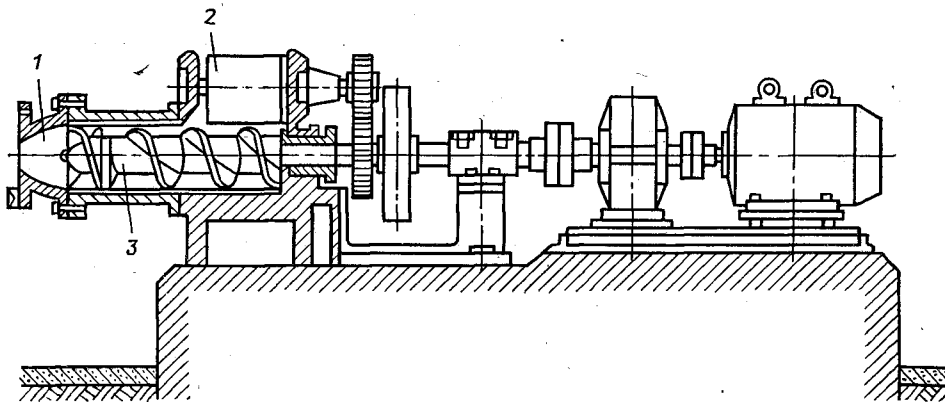


Рис. 36. Ленточный пресс:

1 — мунштук; 2 — приемная чаша; 3 — шнек

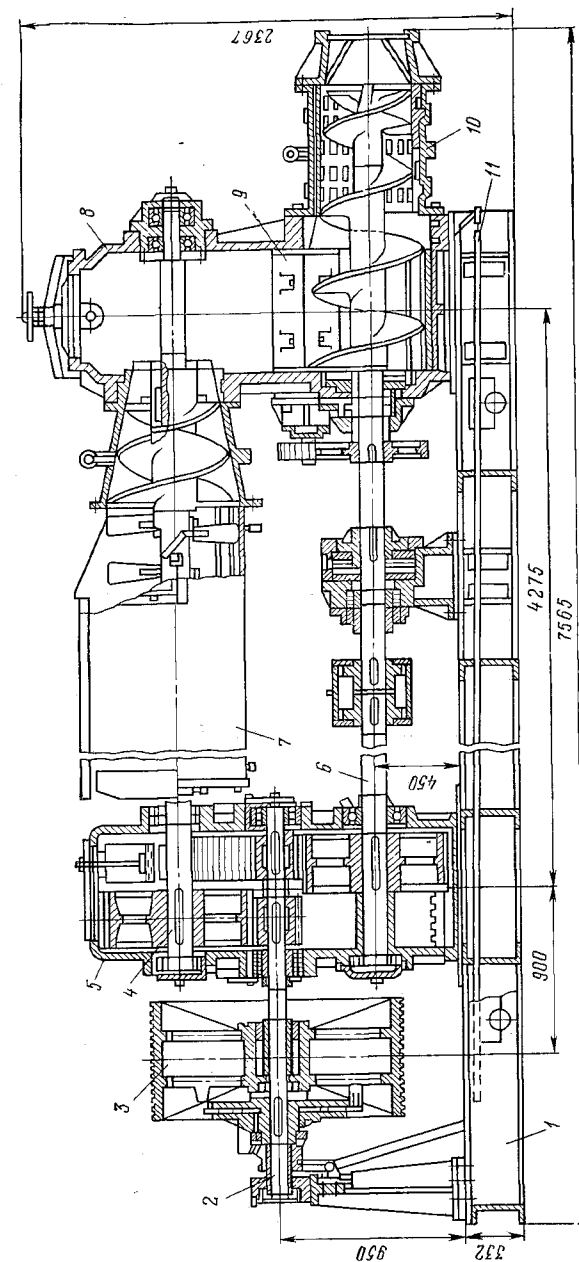


Рис. 37. Ленточный вакуумный пресс:

1 — станна; 2 — приводной вал; 3 — привод; 4 — вал глиномялки; 5 — редуктор; 6 — шнековый вал; 7 — глиномешалка; 8 — вакуумная камера; 9 — питательный валок; 10 — цилиндр с головкой; 11 — рычаг фрикциона

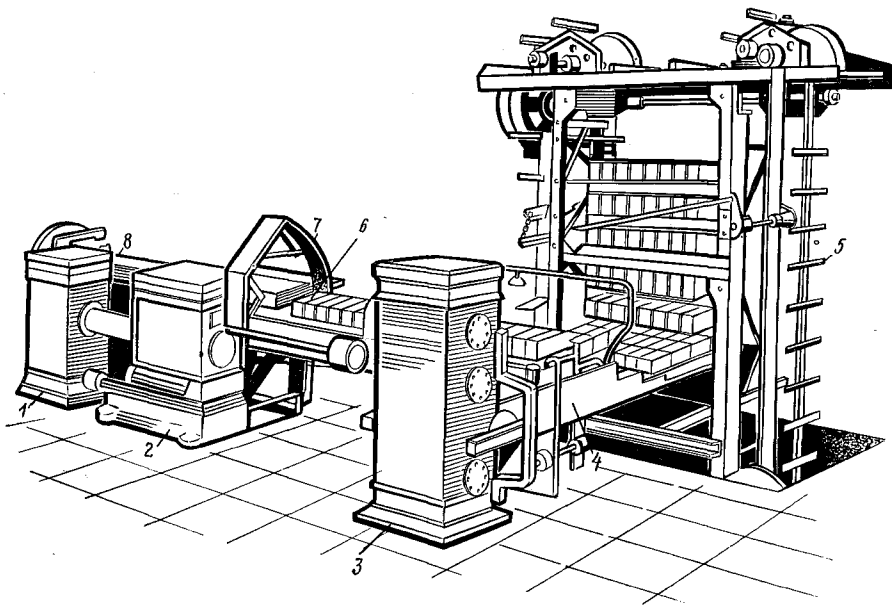


Рис. 38. Автоматический резательный станок:

1 — первый стол и механизм для подачи рамок; 2 — второй стол и механизм резательного аппарата; 3 — третий стол и механизм ступенчатого автомата; 4 — ступенчатый транспортер; 5 — подъемник; 6 — отрезанный кирпич-сырец; 7 — резательный полуавтомат; 8 — брус глиняной массы

При изготовлении кирпича-сырца обычно применяют винтовые или шнековые ленточные вакуумные прессы (рис. 37), которые состоят из горизонтального металлического барабана с вращающимся внутри шнеком (вал с винтообразно насаженной лопастью). При помощи шнека глиняная масса разрезается, перемешивается и проталкивается в мундштук, из которого она выходит в виде сплошной ленты. Мундштук выходного отверстия имеет размеры, несколько большие, чем размеры изготавливаемого сырца (учитывая воздушную и огнеую усадку). Чтобы уменьшить трение выходящей из мундштука глины, стенки выходного отверстия слегка увлажняют с помощью специального приспособления.

Спрессованная лента глины поступает на автоматический резательный станок (рис. 38), на котором при помощи стальных проволок, натянутых на раму, брус глины разрезается на отдельные кирпичи.

Сушка сырца. Свежесформованный пластичным способом сырец содержит до 24% воды; влажность же сырца, который поступает в печь для обжига, должна быть не больше 10%. Скорость сушки зависит от свойств глины, формы и размеров изделия, температуры и влажности окружающего воздуха. Пластичные глины требуют медленной сушки вначале влажным воздухом. На заводах

с небольшой производительностью применяют естественную сушку сырца в сушильных сараях.

На керамических заводах сушильные сараи устраивают обычно стеллажного типа. Между стеллажами оставляют проходы для транспортирования сырца. Естественная сушка сырца зависит от погоды, а поэтому не может обеспечить бесперебойную работу завода. Поэтому на заводах с большой производительностью применяют искусственную сушку. В качестве источника тепла используют отходящие газы обжигательных печей или горячий воздух, полученный в специальных топках. Иногда сушилки устраивают по типу стеллажных и располагают над печами в один или несколько этажей (рис. 39).

Сушилки для искусственной сушки бывают двух видов: периодического и непрерывного действия. Из сушильных устройств периодического действия наибольшим распространением пользуются камерные сушилки (рис. 40), которые представляют собой отдельные камеры длиной от 8 до 15 м. Сырец в этих камерах размещают на стеллажных полках, куда он подается на специальных тележках, которые по рельсам закатывают в камеру, где сырец разгружают, а затем высушивают.

Наиболее совершенным типом сушилок непрерывного действия являются тоннельные или каналные сушильные устройства — противоточные и прямоточные (по движению подогретого воздуха против или по направлению движения сырца). На рис. 41 показана тоннельная сушильная печь.

Обжиг клинкера-сырца — наиболее ответственный процесс при изготовлении клинкера, так как в результате обжига глиняный сырец претерпевает ряд глубоких изменений и в конечном счете приобретает необходимую плотность и прочность.

В керамической промышленности печи для обжига разделяются на два основных типа:

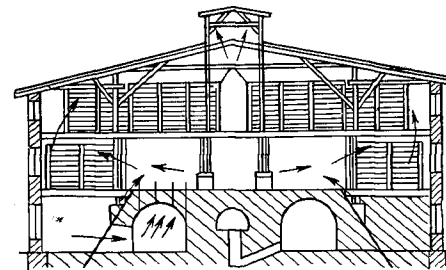


Рис. 39. Схема сушки сырца над печью

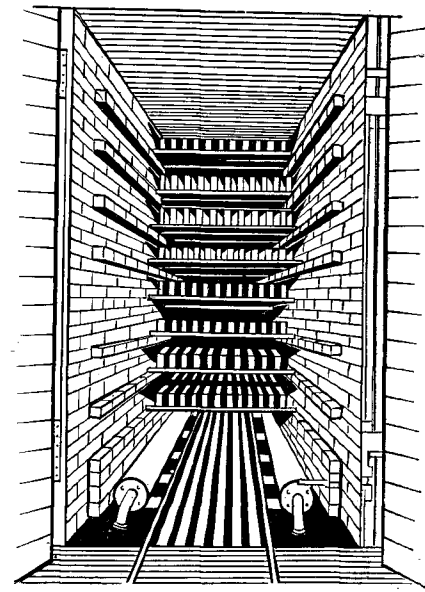


Рис. 40. Камерная сушилка

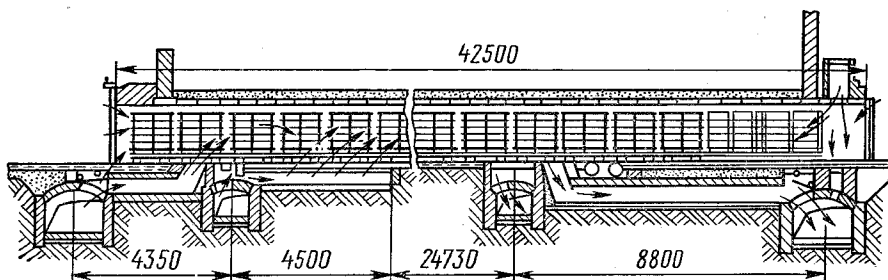


Рис. 41. Туннельная сушильная печь

периодического действия, которые действуют периодами; после каждого обжига печь охлаждается вместе с обожженными изделиями и может быть снова загружена после выгрузки обожженных изделий;

непрерывного действия, в которых процесс обжига происходит непрерывно путем постепенного перемещения зоны огня или постепенного продвижения обжигаемого материала.

Печи непрерывного действия позволяют использовать тепло продуктов горения для сушки и подогрева сырца, одновременно утилизируя тепло обожженного кирпича на подогрев воздуха, поступающего в камеру обжига. Из печей непрерывного действия наиболее распространены так называемые продолговатые кольцевые печи (рис. 42). Производительность кольцевой печи 2000—2500 шт. строительного кирпича в месяц с 1 м³ канала печи. Весь цикл обжига кирпича длится около трех — пяти суток.

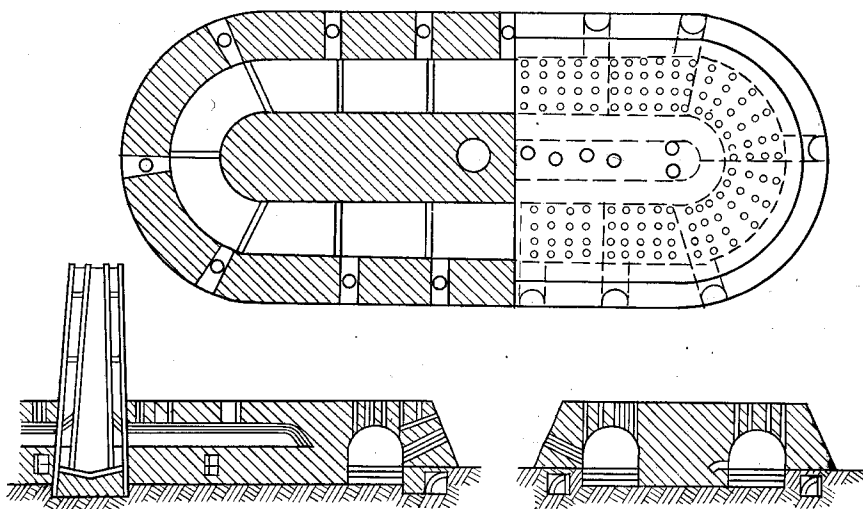


Рис. 42. Кольцевая печь

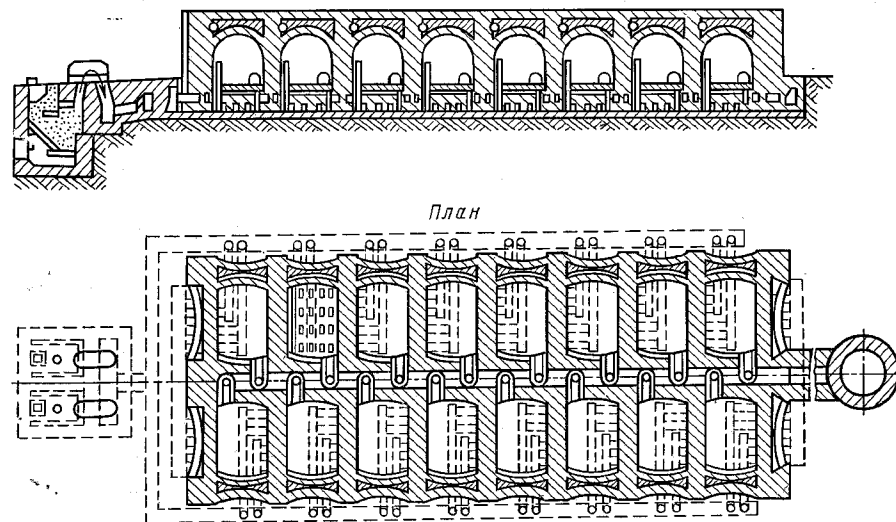


Рис. 43. Газогенераторная печь

Более совершенными по сравнению с кольцевыми печами являются газогенераторные (рис. 43). Топливом в этих печах служит генераторный газ, который получается в специальных устройствах — газогенераторах.

Особым видом печей для обжига клинкерных изделий являются туннельные печи (рис. 44), которые имеют неподвижную зону обжига, а сырец перемещается на тележках. Туннельные печи представляют собой канал длиной 60—160 м, выложенный огнеупорной футеровкой. В средней части канала размещена газовая топка, образующая в этой части так называемую зону обжига. Сырец, находящийся в вагонетках, медленно передвигается навстречу топочным газам, одновременно подогревается и высушивается. Подогрев воздуха, идущего в топку, проходит предварительно в зоне охлаждения печи. Обожженный материал выкатывают из печи и разгружают. Для защиты от огня вагонетки обкладывают огнеупорным материалом. Производительность туннельных печей при дли-

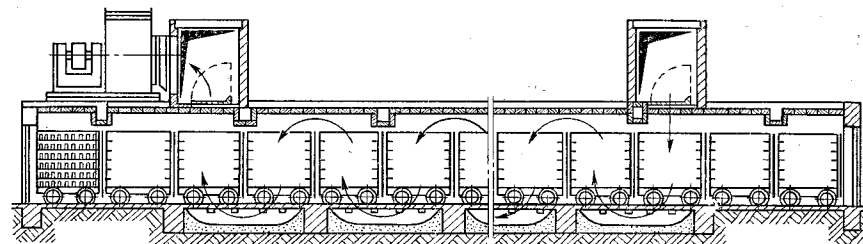


Рис. 44. Туннельная печь для обжига

не канала 100—120 м достигает 15 млн. шт. клинкера в год. Весь цикл обжига длится 1,5—2 суток.

Сортировка клинкера и требования к нему. Независимо от конструкции печи температура в местах входа и выхода пламени колеблется, создавая разный температурный режим в печном пространстве. Вследствие этого садка сырца в каждой камере обжигается неравномерно; наряду с нормально обожженным клинкером часть садки будет недообожженной, частично же будет пережог. Поэтому после охлаждения обожженный клинкер в процессе разгрузки камеры разделяют на сорта: хорошо обожженный клинкер правильной формы; частично недообожженный, а также клинкер с незначительными деформациями. Недообожженный клинкер может быть использован как строительный кирпич; переобожженный клинкер (пережог) со значительными деформациями дробят на щебень.

При приемке клинкера от партии (20 000 шт.) отбирают среднюю пробу — 20 кирпичей (для большей партии берут до 40 шт.), часть кирпичей подвергают после внешнего осмотра лабораторным испытаниям.

Технические требования, предъявляемые к клинкеру как дорожно-строительному материалу, сводятся к следующему:

1. Клинкер должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с размерами $220 \times 110 \times 65$ или $220 \times 110 \times 75$ мм, плоскими поверхностями и прямыми ребрами. Обычно клинкер укладывают в дорожное покрытие на ребро, а при толщине его до 75 мм — плашмя, что дает значительную экономию материала. Клинкер выпускают также и других форм и размеров, например $100 \times 100 \times 100$, $200 \times 90 \times 80$ мм и т. д. Для получения стандартных швов и лучшего скрепления кирпичей между собой в покрытии клинкеру, придают специальную форму.

2. Клинкер должен быть равномерно обожжен до спекания и иметь по всей поверхности излома плотноспекшуюся однородную массу без прослоек и трещин. При ударе молотком клинкер должен издавать чистый металлический звук.

Таблица 19

Физико механические показатели	Марка клинкера		
	I	II	III
Водопоглощение, % по массе, не более	2	4	6
Предел прочности при сжатии кубика $5 \times 5 \times 5$ см, кгс/см ² , не менее	1000	700	400
Сопротивление истиранию на круге (коэффициент), не менее	18	16	14
Сопротивление удару на копре, не менее	15	12	8
Степень морозостойкости (Мрз), не менее	100	50	50

3. Клинкер должен быть достаточно прочным, вязким, стойким, морозостойчивым, иметь плотную структуру и обладать большой объемной массой (не менее 1,9). Физико-механические свойства дорожного клинкера приведены в табл. 19.

§ 18. СТРОИТЕЛЬНЫЙ ГЛИНЯНЫЙ КИРПИЧ

Обыкновенный глиняный строительный кирпич представляет собой искусственный камень определенной формы и размеров, изготовленный путем формования и обжига из кирпичных глин или их смесей обычно с отощающими добавками.

В зависимости от назначения кирпич делят на две группы: *рядовой* (или обыкновенный) и *облицовочный*. Рядовой (или обыкновенный) кирпич служит для кладки стен, поэтому для лучшего сцепления со строительным раствором его поверхность должна быть пориста и шероховата. Облицовочный кирпич служит для облицовки фасадов и наряду с достаточной прочностью должен обладать большой сопротивляемостью атмосферным факторам. Поэтому облицовочный кирпич с лицевой стороны должен иметь однородную окраску, гладкую, слегка спекшуюся поверхность, форму прямоугольного параллелепипеда. Изготавливают также *лекальный* кирпич (для кладки дымовых труб, колодцев и колонн) и *клинчатый* (для кладки сводов) (рис. 45).

Сырьем для изготовления строительного кирпича служат разнообразные виды легкоплавких глин, которые не содержат вредных примесей: крупных камневидных включений, в большом количестве известковых дутиков, гипса и др. Если глина жирная, ее отощают в большинстве случаев добавками кварцевого песка; такая опесчаненная глина лучше обрабатывается и не дает в процессе сушки и обжига большой усадки.

Изготовление кирпича. Процесс изготовления строительного кирпича состоит из следующих основных операций: добычи глины, транспортирования ее на завод, переработки глины, формования сырца, сушки, обжига и транспортирования кирпича на склад. Производственный процесс изготовления кирпича в основном тот

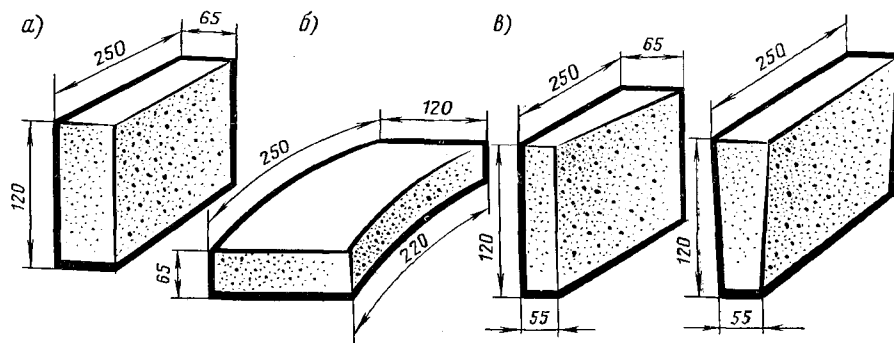


Рис. 45. Форма строительного кирпича:

а — обыкновенный; б — лекальный; в — клинчатый

же, что и при изготовлении клинкера. Так же, как и клинкер, строительный кирпич изготовляют способом пластичной формовки или полусухим прессованием. Обжигают кирпич обычно в кольцевых или газогенераторных печах на 16—24 камеры, а на заводах с большой производительностью — в тоннельных печах. Температура обжига поднимается примерно до 950—1000° С, причем обжиг заканчивается задолго до полного спекания массы, и это является отличительным признаком кирпича от клинкера, который, как указывалось выше, обжигается до полного спекания массы (клинкеризации).

В зависимости от состава глины, кирпич в процессе обжига приобретает различную окраску. Большой частью глины при нормальном обжиге дают буровато-красный цвет, глины же, содержащие карбонаты, после обжига приобретают желтую или оранжевую окраску. Недообожженный кирпич из глин, содержащих железистые соединения, имеет алую окраску, а при сильном обжиге (пережоге) — темно-красный, ржавый цвет. В последнем случае получается кирпич со спекшейся поверхностью, который называется «железняком». Недообожженный (алый) кирпич нестойк и имеет невысокую прочность; железняк обладает повышенной прочностью и малой водопоглощаемостью и воздухопроницаемостью.

После обжига кирпич сортируют по цвету (степени обжига), форме и другим признакам и складывают в клетки по 250 шт. (точнее 251) в каждую.

Технические требования. К обыкновенному строительному кирпичу предъявляются следующие требования:

1. Размер кирпича по стандарту должен быть 250×120×65 мм, а трехчетвертного — 185×120×65 мм; кирпич должен иметь правильную форму с ровными ребрами, углами и поверхностью.

2. Окраска кирпича должна быть одинаковой и без налетов, кирпич должен быть хорошо обожжен, что определяется чистым звуком при ударе молотком. Дребезжащий и глухой звук указывает на наличие скрытых трещин, неоднородность обжига и пр. Пережог (железняк) относится к некачественному строительному кирпичу.

3. Кирпич должен обладать достаточной прочностью при сжатии и изломе, водопоглощаемостью не менее 8% и быть морозостойким, т. е. выдержать 15-кратное замораживание при —15° С с последующим оттаиванием.

Требования к кирпичу строительному обыкновенному приведены в табл. 20.

Для лабораторных испытаний отбирают средние пробы в зависимости от размера поставки. Строительный кирпич испытывают по методике, принятой для каменных материалов, но с разницей в подготовке образцов для испытания:

кирпич обмеряют штангенциркулем с точностью до 0,5 мм; искривление определяют при помощи металлических угольников;

для испытания на сжатие отобранные кирпичи распиливают поперек на две половинки, которые накладывают одну на другую

Марка кирпича	Предел прочности, кгс/см²				Степень морозо- стойкости (Мрз), не менее
	при сжатии		при изгибе		
	Среднее	Минимальное отдельных образцов	Среднее	Минимальное отдельных образцов	
150	150	100	28 (20)	14 (10)	15
100	100	75	22 (16)	11 (8)	15
75	75	50	18 (12)	9 (6)	15

Примечание. Цифры в скобках относятся к кирпичу полусухого прессования.

на цементном тесте; приготовленные таким образом кубовидные образцы покрывают цементным тестом с двух противоположных плоскостей, которые будут подвергаться давлению;

водопоглощение и морозостойкость определяют на целых кирпичах обычными методами;

на излом кирпич испытывают на гидравлическом прессе, причем кирпич устанавливают плашмя на два цилиндрических валика, а нагрузку прикладывают посередине сверху.

Перевозка и хранение. Строительный кирпич перевозят без тары с укладкой его обычно на ребро. Для удешевления погрузочно-разгрузочных операций кирпич часто транспортируют в контейнерах. При перевозке кирпича в железнодорожных вагонах его укладывают на ребро в количестве 4500—5100 шт. в вагоне. Хранится

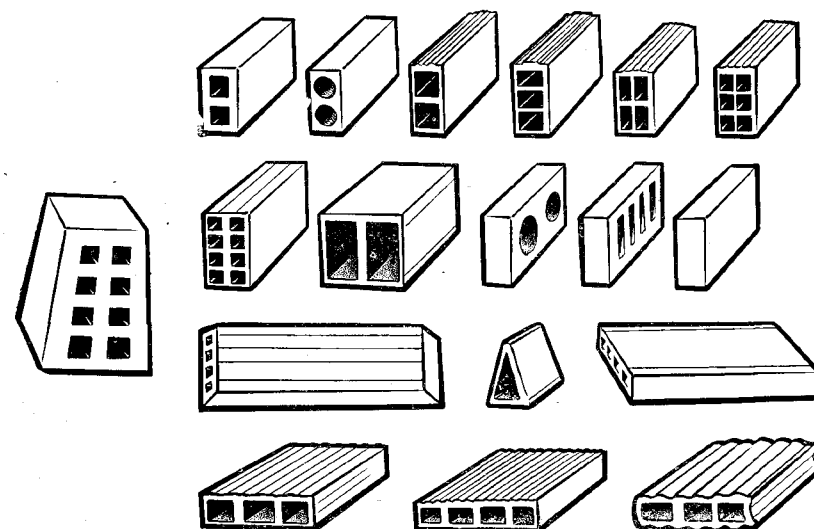


Рис. 46. Формы пустотелого кирпича

кирпич на открытом воздухе, в клетках, при этом нижний ряд в клетке ставят на ребро.

По такой же технологии, но из более пластичных глин и при более высокой температуре обжига изготовляют пустотелый кирпич разнообразной формы (рис. 46) путем установки на ленточном прессе специальных мундштуков с кернами.

Пустотелый кирпич по размерам больше обычного ($250 \times 250 \times 140$ мм); объемная масса его 1,2—1,3; водопоглощение не более 15%; предел прочности при сжатии 50—150 кгс/см²; Мрз — 15—35. Пустотелый кирпич применяют для кладки облегченных стен, перегородок, перекрытий, оград и т. д.

Пористый (или легкий) кирпич изготавливают из легкоплавких глин с порообразующими добавками из диатомитов или из смеси глин и диатомитов (или трепелов). Кирпич имеет размеры $250 \times 120 \times 88$ мм или $250 \times 120 \times 140$ мм. Его выпускают трех марок 100, 75 и 50 (показатель прочности при сжатии).

§ 19. ЧЕРЕПИЦА, ПЛИТКИ И ТРУБЫ

Кровельная гончарная черепица. Глиняная или гончарная черепица (рис. 47) представляет собой сформованные из глины и обожженные изделия различной формы и размеров. Черепица служит для устройства кровель.

Для изготовления черепицы употребляют пластичные глины, которые не коробятся и не образуют трещин в процессе сушки и обжига и приобретают после обжига однородную окраску. Технология изготовления черепицы в основных процессах не отличается от изготовления кирпича, но так как черепица представляет собой изделие, имеющее малую толщину, все операции должны выполняться особенно тщательно. Хорошо подготовленную глиняную массу подвергают формовке. При машинном способе формовки черепицы применяют ленточные прессы, которые снабжают специальным мундштуком с прорезом, соответствующим форме черепицы.

Для изготовления сложной по форме черепицы служат револьверные прессы. Эти прессы снабжены металлическими и гипсовыми формами, одна из которых соответствует верхнему рисунку и форме черепицы, а другая — нижнему. Для изготовления черепицы валик глиняной массы, подготовленный ленточным прессом, закладывают в форму прессы. Отформованную черепицу укладывают на специальные рамки для сушки; транспортировать и сушить отформованную черепицу необходимо осторожно во избежание коробления, появления трещин и других деформаций.

Высушенная черепица поступает на обжиг в печи с обратным пламенем. В низ печи укладывают три-четыре ряда обыкновенного кирпича. Температура при обжиге черепицы должна обеспечить полное спекание черепка ($950—1000^\circ\text{C}$).

Кровельная черепица должна быть хорошо обожженной, равномерно окрашенной и иметь ровную и гладкую поверхность. Кроме того, она должна быть достаточно прочной (разрушающая нагрузка

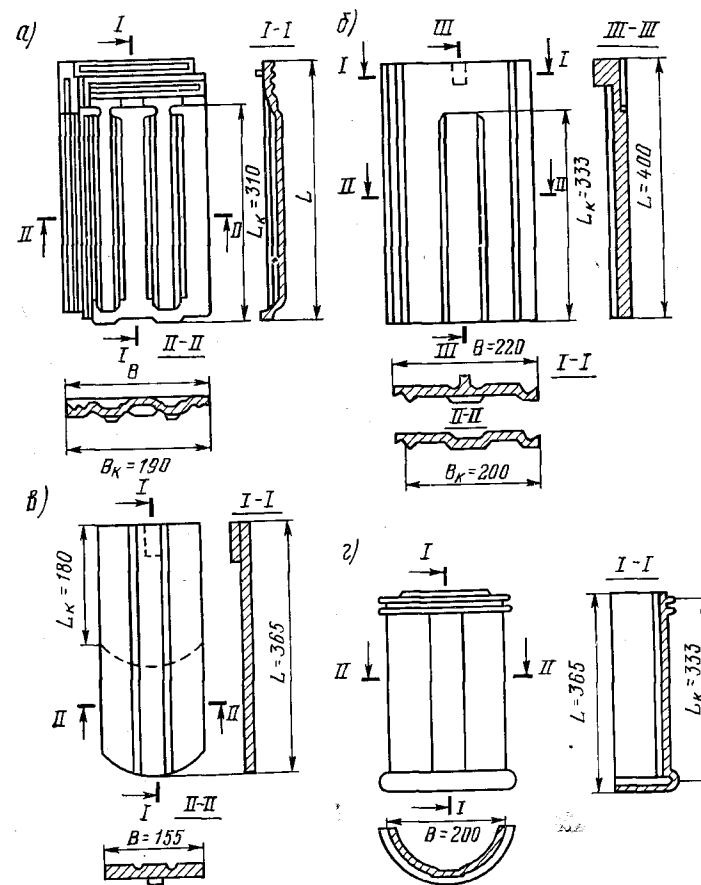


Рис. 47. Кровельная черепица:

а — пазовая штампованная; б — пазовая ленточная; в — плоская ленточная; г — коньковая; L — габаритная длина; L_k — кроющая длина; B — габаритная ширина; B_k — кроющая ширина

на излом не менее 70 кгс), водонепроницаемой и морозостойкой (Мрз не ниже 25).

Для лабораторных испытаний отбирают среднюю пробу (по сортам), которую подвергают соответствующим испытаниям, внешнему осмотру и определяют выдержанность формы и размеры. Водопоглощение, морозостойкость определяют на целых образцах черепицы.

Черепицу перевозят в клетках или ящиках, переложенную соломой или стружками. Разложенную по сортам черепицу хранят в сараях в таре.

Керамические плитки. Канализационные и дренажные трубы. Керамические плитки представляют собой изделия из глины или смеси глины с отощающими и окрашивающими добавками, сфор-

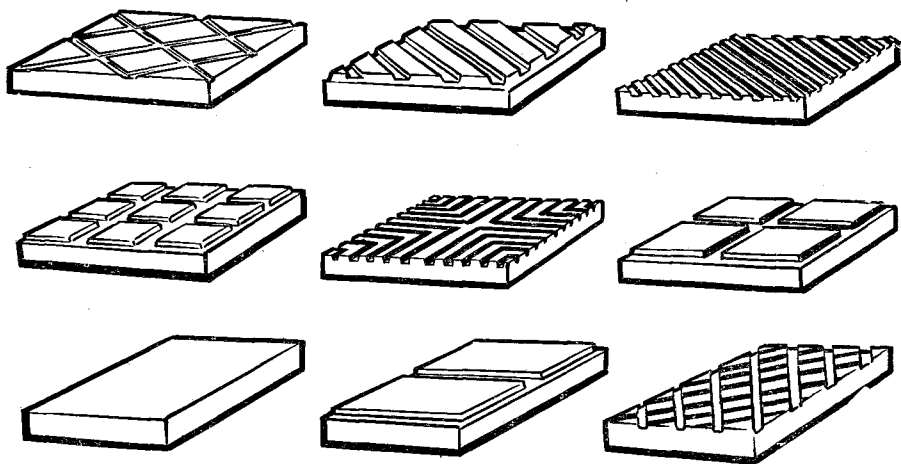


Рис. 48. Разновидности керамических плиток для полов и тротуаров

мованные полусухим способом и обожженные до спекания. Форма и размеры керамических плиток бывают различными. Для устройства полов, площадок, тротуаров применяют керамические плитки, показанные на рис. 48.

Для изготовления керамических плиток применяют высокие сорта пластичных глин, обладающие большим интервалом плавкости, который необходим для получения плотного, хорошо спекшегося черепка. В качестве добавок к глине применяют шамот, молотый полевой шпат, а иногда песок.

Для придания необходимой окраски добавляют глины другого состава или различные химические вещества (CaO , ZnO , MnO , Fe_2O_3 и др.). Обычно плитки изготавливают белого, желтого, красного и других цветов или с различным рисунком. Обожженные плитки должны быть ровными, с прямыми краями, равномерно обожженными, но не остеклованными. Они должны быть твердыми, достаточно прочными и обладать водопоглощаемостью не более 2%.

При приемке керамических плиток отбирают среднюю пробу, плитки которой подвергают внешнему осмотру, обмеру и соответствующим испытаниям. При транспортировании плитки перекалывают соломой или стружками.

Керамическими канализационными трубами называют водонепроницаемые обожженные трубы из глиняных масс, покрытые снаружи и изнутри глазурью. Эти трубы применяют для отвода атмосферных, канализационных и сточных вод. Канализационные трубы обыкновенно изготавливают с раструбами для взаимного сопряжения.

Канализационные трубы изготавливают из пластичных однородных глин низкой огнеупорности. С целью уменьшения усадки к глине прибавляют отошающие добавки (шамот, иногда песок). Сырьевую массу обычно готовят пластичным способом. Трубы фор-

муют на специальном трубном прессе (рис. 49), который позволяет одновременно с телом трубы формировать и раструб. Сушат трубы в искусственных сушильных устройствах. Перед обжигом (температура обжига $1250\text{--}1300^\circ\text{C}$) трубы обязательно покрывают глазурью. Для этого сырую трубу покрывают глиняной глазурью или наносят на нее соляную глазурь в процессе обжига. Глиняная глазурь представляет собой тонкоотмученную глиняную суспензию с значительным содержанием железистых и других плавней. В процессе обжига глазурь расплавляется, придавая поверхности трубы устойчивость против химических воздействий. Для получения соляной глазури в печь при наиболее высокой температуре забрасывают два-три приема поваренную соль. При высокой температуре в присутствии паров воды образуется HCl и Na_2O , окись натрия соединяется с силикатами глинозема, образуя алюмосиликат натрия в виде стекловидного слоя на поверхности изделия.

Керамические трубы должны выдерживать давление не менее 2 кгс/см^2 и нагрузку на 1 пог. м не менее:

При внутреннем диаметре 125—250 мм	2000 кгс
» » » 300—600 »	2500 »

Водопоглощение черепка должно быть не более 11%.

При приеме труб отбирают 0,1% от общего числа годных труб по внешнему осмотру, которые и подвергают детальному освидетельствованию для установления соответствия их стандартным размерам и качества обжига. В лаборатории трубы испытывают на водонепроницаемость (годность глазури), механическую прочность (посредством внутреннего гидравлического давления), химическую стойкость и водопоглощаемость.

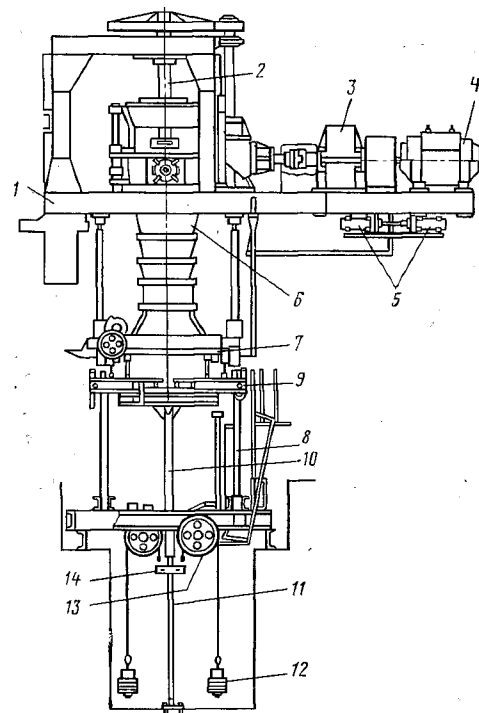


Рис. 49. Вакуумный пресс для формования труб:

1 — рама; 2 — вал со шнеком; 3 — редуктор; 4 — электродвигатель; 5 — фрикционные муфты; 6 — корпус пресса; 7 — стальная труба для резки труб; 8 — направляющие колонки; 9 — подъемный стол; 10 — труба; 11 — направляющая штанга; 12 — грузы; 13 — блоки; 14 — траверса

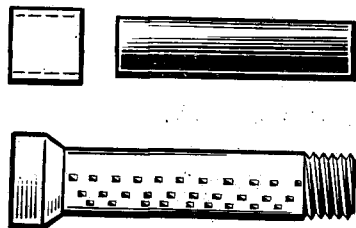


Рис. 50. Керамические трубы дренажные

нажные трубы часто засоряются и разрушаются, в последнее время их чаще делают из плотной массы без раструбов. Для соединения труб и защиты их от заиливания служат специально изготавливаемые керамические муфты. Вода в такие трубы поступает через стыки. Как дырчатые, так и плотные дренажные трубы покрывают глазурию.

§ 20. КЕРАМЗИТ, КЛИНКЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ГОРЕЛЫЕ ПОРОДЫ

Керамзит (за рубежом — хайдит) представляет собой пористый материал в виде гравия или щебня, который получают в результате обжига вспучивающихся глиняных масс. Керамзит имеет пемзовидную текстуру, образованную преимущественно замкнутыми порами. Ведущим показателем качества керамзита является его малая объемная масса (в среднем 500—800 кг/м³). Керамзит применяют в качестве гравия и песка для приготовления легких цементобетонных изделий и как теплоизоляционный материал.

Разработка технологии производства керамзитового гравия и песка была начата в СССР в 20-х годах Е. В. Кострико, а в послевоенные годы была продолжена С.П. Онацким.

Прогрессивность этого керамического материала для приготовления легких цементобетонов иллюстрируется быстрым развитием его производства: в 1965 г. было выдано заводами 6,3 млн. м³, а к 70-м годам выпуск керамзита был увеличен больше чем в 2 раза.

Сырьем для производства керамзита служат легкоплавкие глины, содержащие железистые соединения, щелочные окислы, органические соединения, карбонаты, способные при обжиге вспучиваться. Для улучшения вспучивания к глинам добавляют древесные опилки, торф, пиристовые огарки, угольную пыль.

Технология производства керамзита включает следующие операции: добычу глины (или суглинка) в карьере, транспортирование ее на завод с загрузкой в приемный бункер, выделение из глины камневидных включений, измельчение глины, введение порообразующих добавок, увлажнение и тщательное перемешивание, формование гранул на дырчатых вальцах (рис. 51), сушку гранул во вращающихся сушилках, обжиг во вращающихся печах, охлажде-

ние во вращающихся цилиндрических холодильниках и транспортирование полученного керамзита на склад.

Для предотвращения от слипания гранул в процессе сушки в сушильный барабан вводят глиняную муку (измельченную сухую глину). Обжиг сухих гранул осуществляют во вращающихся печах длиной 40 м и диаметром 2,5 м при температуре 1140—1220° С. Полученный керамзит при необходимости сортируют, выделяя гравий трех фракций: 40—20, 20—10, 10—5 мм и песок двух фракций: 5—1,2 и менее 1,2 мм (рис. 52).

Качество керамзита определяют по объемной массе, прочности при раздавливании в цилиндре, водопоглощению и морозостойкости (табл. 21).

Клинкерный щебень (керамдор) получают в результате обжига до полного спекания во вращающейся печи изготовленных мокрым способом угловатых гранул из глинистых масс или путем дробления штучного клинкера до крупности зерен менее 70 мм.

Для производства керамического щебня используют легкоплавкие глины и суглинки (с отошающими добавками), которые должны обладать числом пластичности не менее 7, содержать свободного кремнезема не менее 20%, не вспучиваться при обжиге, обладать интервалом плавкости не менее 60.

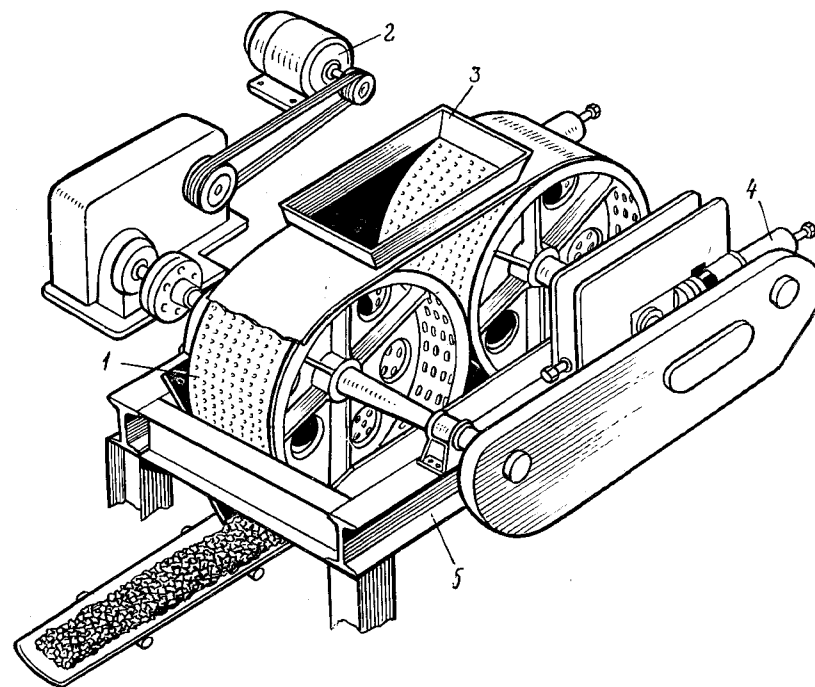


Рис. 51. Вальцы для формования гранул керамзита:
1 — дырчатые пустотелые вальцы; 2 — электродвигатель; 3 — приемная воронка; 4 — амортизаторы; 5 — станина



Рис. 52. Керамзит:
а — кусковой; б — гравий

Зерна клинкерного щебня имеют плотное сложение, слабошероховатую поверхность и острые ребра. Объемная масса зерен щебня должна быть не менее $2,0 \text{ г/м}^3$, водонасыщение должно быть не более 5%, прочность при сжатии по дробимости в цилиндре — 1000—1200 кгс/см², морозостойкость — более 100.

Керамический щебень может быть использован для устройства щебеночных оснований, для приготовления цементно- и асфальто-бетонов.

Горелые породы представляют собой пустую породу из угольных шахт, в различной степени обожженную в конических отвалах (терриконах) в результате самовозгорания органических веществ в породе. Пустые породы, удаляемые из угольных шахт, состоят преимущественно из углистых глинистых сланцев, бедных содержанием угля. При самовозгорании угля, имеющегося в терриконах, происходит неравномерный обжиг сланцевых пород, в результате чего получаются куски, разные по крупности и степени обжига, часто слоисто-чешуйчатого сложения.

Горелые породы представляют, таким образом, различный по составу и по степени обжига материал, требующий при его использовании постоянного контроля на месте разработки терриконов.

Таблица 21

Марки керамзитового гравия (объемная масса), кг/м ³	Предел прочности при раздавливании для классов, кгс/см ²		Водопоглощение по массе, %, не более	Марки керамзитового гравия (объемная масса), кг/м ³	Предел прочности при раздавливании для классов, кгс/см ²		Водопоглощение по массе, %, не более
	А	Б			А	Б	
150	4	3	—	450	20	17	20
200	5	4	25	500	25	20	20
250	8	6	25	550	30	23	20
300	10	8	25	600	35	30	20
350	14	10	25	700	45	30	15
400	17	14	25	800	60	40	15

Горелые породы при соответствующей их сортировке используют как местный материал для устройства подстилающих слоев дорожных одежд на местных автомобильных дорогах и тротуарах, для приготовления пробужденного бетона. Отдельные разновидности порошкообразной горелой породы в смеси с добавками извести (и гипса) используют как местный низкомарочный вяжущий материал для приготовления кладочных растворов.

§ 21. ШЛАКОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ведущее место среди искусственных каменных материалов принадлежит металлургическим шлакам, которые являются побочным продуктом металлургии.

Металлургические шлаки в зависимости от технологического процесса производства металла делят на шлаки *черной* и *цветной* металлургии.

Шлаки черной металлургии могут быть *доменные*, которые выдают при выплавке чугуна из железных руд, и шлаки *передельных процессов* — *сталеплавильные*, которые получают при выплавке стали из чугуна.

При производстве различных сортов стали в зависимости от технологии сталеплавильные шлаки могут быть мартеновские, конверторные (бессмеровские или томассовские), электросталеплавильные, ваграночные и др.

Шлаки представляют собой сплав окислов пустой породы, золы топлива и окислов флюсов, образующихся в доменных, мартеновских и других металлургических печах как побочный продукт. Получаемое при этом количество шлака на 1 т выплаваемого металла составляет при доменном процессе до 80 кг, мартеновском 30, конверторном — 18, ваграночном — 8 кг.

Наибольшую ценность как исходное сырье для производства строительных материалов и полуфабрикатов представляют доменные шлаки, затем мартеновские, конверторные и электросталеплавильные. Ваграночные шлаки вследствие малого их выхода и значительного содержания металла не представляют интереса как сырье для производства каменных материалов.

Доменные шлаки представляют ценный побочный продукт, который образуется в доменных печах в огненножидком состоянии при выплавке чугуна из железных руд.

Химико-минералогический состав шлаков зависит от качества руды, флюсов, топлива и технологического процесса плавки. В составе шлаков имеются SiO_2 , Al_2O_3 , CaO с примесью MgO , CaS , FeO , MnO и др. По содержанию некоторых окислов, существенно влияющих на качество шлаков, различают такие разновидности:

Шлаки, содержащие			
Кремнистые	SiO_2	более 40%	
Глиноземистые	Al_2O_3	» 15%	
Известковые	CaO	» 50%	
Магнезиальные	MgO	» 10%	
Железистые	FeO	» 5%	
Марганцевистые	MnO	» 4%	
Фосфористые	P_2O_5	» 3%	
Сернистые	SO_3	» 3%	

При содержании двух или более указанных окислов шлакам присваивают комплексные наименования.

Шлаки по соотношению основных окислов (CaO, MgO, FeO, MnO) к кислотным (SiO₂, P₂O₅, TiO₂) характеризуют условным модулем основности:

основные шлаки
$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} > 1;$$

кислые шлаки
$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} < 1;$$

промежуточные шлаки
$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} < 1 \text{ и}$$

одновременно
$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1.$$

Al₂O₃ представляет окисел, который с основаниями реагирует как слабая кислота, а с кислотами как слабое основание.

Большинство металлургических шлаков имеют модуль основности $M=0,7-1,6$, причем шлаки древесно-угольной плавки характеризуются модулем меньше единицы.

Доменные шлаки металлургических заводов Донбасса и Приазовья характеризуются следующим химическим составом: CaO 38,5—54,5%; SiO₂ 28,0—41,3; Al₂O₃ 5,5—23,4; MgO 1,0—12,0; MnO 0,4—5,0; FeO 0,3—1,8; SO₃ 0,5—3,0%.

Названные окислы в зависимости от технологии плавки, режимов охлаждения расплава образуют псевдоволстонит, мелилит, геленит, сульфиды кальция и марганца, кальцит и другие минералы.

От химико-минералогического состава зависят свойства шлака и расплава, в частности кристаллизационная способность расплавов. Температура плавления шлаков в зависимости от их химического состава колеблется в пределах 1200—1800°С.

По вязкости шлаковые расплавы в зависимости от состава и температуры делят на:

Жидкоплавкие с вязкостью	<5 пз
Нормальные »	»	...	5—10 »
Густоплавкие »	»	...	>10 »

По характеру струи выливаемых шлаковых расплавов их делят на «длинные» (кислые) и «короткие» (основные).

Шлаковый расплав содержит разное количество растворенных в нем газообразных веществ, которые при понижении температуры выделяются из шлака, при этом объем их увеличивается. Чем больше вязкость расплава, тем больше затруднений для выделения газообразных веществ, наличие которых обуславливает пористую или пемзовидную текстуру шлака.

При медленном остывании расплава шлак приобретает кристаллическую структуру, а при быстром — стекловидную. При одинаковых условиях охлаждения доменные шлаки в зависимости от химико-минералогического состава обладают разной способностью к кристаллизации — одни разновидности хорошо кристаллизуются, другие же приобретают стекловатое строение.

По структурно-текстурным признакам шлаки могут быть плотные, пористые, ноздреватые, пемзовидные, кристаллические, стекловатые и смешанной структуры.

Важной характеристикой доменных шлаков является стабильность их структуры. Шлаки с неустойчивой структурой в результате сложных физико-химических процессов и воздействия влаги и температуры самопроизвольно разрушаются (распадаются), превращаясь в раздробленный материал или мучнистый порошок. Различают следующие виды распада.

Силикатный распад выражается в том, что охлаждаемый шлак распадается на отдельные куски или рассыпается в тонкий порошок — доменную муку. Причиной этого распада является возможное превращение двухкальциевого силиката (2CaO · SiO₂ — условно обозначен C₂S) из одной фазы в другую. Двухкальциевый силикат C₂S может быть в полиморфных фазах: высокотемпературные фазы альфа αC₂S и бета βC₂S и одну низкотемпературную фазу гамма γC₂S. При температуре 850°С переход фазы αC₂S в фазу γC₂S сопровождается уменьшением плотности кристаллов двухкальциевого силиката и увеличением их объема на 10%. При температуре 675°С возможен переход двухкальциевого силиката фазы αC₂S в фазу γC₂S, но без увеличения объема. При температуре 300—400°С возможен переход βC₂S в фазу γC₂S с увеличением объема кристаллов примерно на 10%. Такое увеличение объема приводит к разрушению кусков шлака вплоть до шлаковой муки.

Силикатный распад характерен для основных доменных шлаков, содержащих окиси кальция свыше 44% при малом количестве Al₂O₃ и MgO. Предотвратить силикатный распад доменных шлаков можно химическим способом путем введения в шлаковый расплав различных стабилизаторов Mg₂, SiO₄, F₂SiO₄, Ca₃(PO₄)₂ и физическим способом — закалкой.

Известковый распад происходит в результате медленной гидратации крупинки извести — пережога, что сопровождается увеличением объема и разрушением шлака на куски. Известковый распад присущ мартеновским, конверторным и другим шлакам; у доменных шлаков распад бывает редко.

Сульфидный распад структуры шлаков возникает в результате гидролиза сульфида марганца (марганцевый распад) с образованием гидрата окиси марганца, что сопровождается увеличением объема на 24%, или при гидролизе сульфида железа (железистый распад) с образованием гидрата окиси железа с увеличением объема на 38%. Сульфидный распад разрушает куски шлака на раздробленный шлаковый материал. Сульфидный распад проявляется

при увлажнении шлаков. По стабильности структуры различают шлаки устойчивой структуры, склонные к распаду, и распадающиеся.

Получение доменных шлаков. Производство чугуна осуществляется в доменных печах. Домна представляет собой вертикальную цилиндрическую печь с расширением посередине и суживающуюся книзу; снаружи она обшита кожухом из листового железа, а внутри выложена огнеупорными блоками (футеровкой). Домну загружают сверху шихтой — смесью руды, флюсов и топлива. В процессе плавки шихты в глубокой зоне домны (горне), где температура достигает примерно 1500°C , накапливается чугун, над ним располагается шлак, имеющий меньшую плотность примерно в 2,5—3 раза. Периодически шлак сливают через специальные отверстия в стенке доменной печи (шлаковые летки), через которые удаляется около половины так называемого «верхового» шлака. Остальная часть шлака выливается с чугуном по желобам со специальными делительными устройствами, вследствие этого нижний шлак содержит небольшое количество включений гранул чугуна.

Шлаковый расплав из домны сливают в шлаковые ковши, из которых он поступает на дальнейшую переработку или непосредственно в припечные устройства для производства шлаковой пемзы, грануляции и др.

В зависимости от характера хода плавки чугуна в доменной печи различают: *холодный* (температура 1400°C и ниже), *горячий* (температура 1500°C и выше) и *нормальный* ход. При холодной плавке чугуна уменьшается содержание Fe_2O_3 и MnO и увеличивается SO_3 , при горячем же ходе печи наблюдается обратное явление. При нормальном ходе содержание указанных соединений имеет среднее значение. Шлаки основные, богатые известью, подвергают грануляции.

Гранулированные шлаки представляют собой смесь округлых угловатых зерен размером менее 10 мм от темно-бурого до светло-желтого цвета, аморфной (стекловатой) структуры, которые получают быстрым мокрым, сухим или полусухим охлаждением шлакового расплава.

При мокрой грануляции шлаковый расплав сливают в бассейны с водой или в специальные желоба, в которые подается шлак и вслед за ним вода, транспортирующая шлак к элеваторам. Шлак мокрой грануляции содержит до 40% воды. Сухая грануляция заключается в том, что шлаковый расплав распыляется струей воздуха (или пара) или механическим воздействием; такой шлак имеет влажность до 5%.

Полусухая грануляция осуществляется малым количеством воды с последующим охлаждением воздухом. Влажность шлака такой грануляции 5—10%.

В необходимых случаях при использовании гранулированного шлака для производства шлаковых цементов расплав до грануляции обогащают окисью кальция или другими потребными присадками.

Выбор способа грануляции расплавов доменных шлаков зависит от их химического состава. Так, шлаковые расплавы, содержащие повышенное количество глинозема и пониженное количество кремнезема, лучше гранулировать мокрым способом. А шлаковые расплавы, имеющие в своем составе пониженное количество глинозема и повышенное содержание кремнезема, следует гранулировать сухим (воздушным) способом. Важной операцией является сушка обводненного гранулированного шлака, при этом необходимо учитывать, что при температуре выше 500°C происходит расстекловывание шлака, а следовательно, и снижение его гидравлической активности.

Доменные гранулированные шлаки обладают гидравлической активностью, т. е. способностью в тонкоразмолотом и увлажненном состоянии медленно отвердевать.

При наличии катализаторов (например $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и др.) и гидравлическая активность шлаков значительно повышается.

Основные доменные шлаки подвергают грануляции с дальнейшим их использованием в цементной промышленности в качестве активной (гидравлической) добавки при производстве портландцементов, шлакопортландцементов и бесклнкерных цементов. Некоторое количество доменных шлаков идет для производства шлаковой пемзы, литого шлакового щебня, шлаковой ваты и шлакоситаллов.

Литой шлаковый щебень. Производство литого шлакового щебня осуществляется следующим образом. Вдоль железнодорожной шлаковозной ветки устраивают в грунте траншеи шириной 5 и длиной до 15 м.

Если позволяют местные условия, траншеи лучше устраивать большего размера, например, шириной около 15 и длиной до 500 м, что облегчает механизированную выломку, выгрузку и вывозку шлака. Дно ям заполняют шлаковой мелочью, выравнивают и уплотняют (защитный слой). По дну ямы устраивают поперечные перегородки из дробленого шлака на расстоянии, обеспечивающем заполнение образовавшегося отсека расплавом из прибывающих одновременно ковшей. В подготовленные таким образом ямы из шлаковозных ковшей выливают шлаковый расплав несколькими слоями (не менее 10), толщиной 14—18 см. При этом каждый последующий слой выливают только после образования на поверхности предыдущего слоя затвердевшей корки (для более легкого отделения застывших шлаковых плит). Иногда для облегчения выломки остывающий слой шлака поливают водой, в результате быстрого неравномерного охлаждения шлаковая плита разбивается трещинами на небольшие куски. Обычно порядок заполнения ям осуществляют таким образом, что когда первую яму заполняют шлаком, во второй происходит медленное остывание (томление) шлака, а из третьей ямы выламывают охлажденный шлак, который и подвергают дроблению на щебень, грохочению, а в необходимых случаях и сепарации (обогащению) фракционированного щебня по плотно-

сти (объемной массе) с помощью специальных машин, например классификаторов.

Полученный щебень обладает кубовидной формой зерен, слабо-шероховатой поверхностью раскола, хорошим сцеплением с битумом и цементным раствором, прочностью при сжатии до 1000 кгс/см², малым износом, морозостойкостью. Литой шлаковый щебень успешно применяют для устройства щебеночных слоев дорожной одежды, для приготовления асфальтобетона и тяжелого цементобетона в качестве путевого балластного материала.

Литые шлаковые изделия. Качество доменного шлакового расплава для изготовления литых изделий определяется химическим составом, вязкостью, наличием газообразных веществ. Избыток кремнезема, например, может привести к образованию повышенного количества стекловатой массы, а следовательно, и хрупкости изделий. В шлаках же, богатых СаО, добавка кварцевого песка устраняет склонность шлака к силикатному распаду и увеличивает прочность изделий до 2000 кгс/см². Удлинение времени остывания несколько снижает отрицательное влияние избытка кремнезема.

Шлакоситаллы — шлаковые изделия, которые получают путем отливки, штамповки или проката шлакового расплава определенного химического состава с введенными в него катализаторами (зародышами кристаллов) с последующей двухступенчатой термической обработкой. В результате изделия приобретают тонкокристаллическое строение и характеризуются плотным сложением; большой прочностью (предел прочности при изгибе до 70 кгс/мм²), твердостью, вязкостью, морозостойкостью.

Шлакоситаллы как строительный материал применяют для устройства тротуаров, переходов, облицовки элементов сооружений, для футеровки элементов, машин, подвергающихся износу (мельницы, лотки и др.).

Шлаковая пемза или термозит (рис. 53) представляет поризованный пемзоподобный шлаковый материал, который получают преимущественно искусственным вспучиванием (поризацией) расплава.

Шлаки, содержащие значительное количество газообразных веществ, при остывании образуют сильнопористую текстуру вследствие выделения газов. Однако при производстве шлаковой пемзы

прибегают к искусственному вспучиванию. Обычно вспучивание производят: гравитационным методом, при котором шлаковый расплав выливают в ямы с сильноувлажненным подом или в расплав вводят под давлением воздух и пар; методом смешения, который заключается в том, что расплав механически дробится и одновременно его обрабатывают паром и воздухом, вследствие чего куски шлака вспучиваются и охлаждаются (рис. 54).

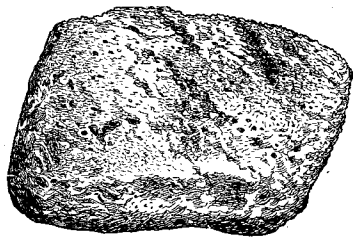


Рис. 53. Шлак доменный пемзавидный

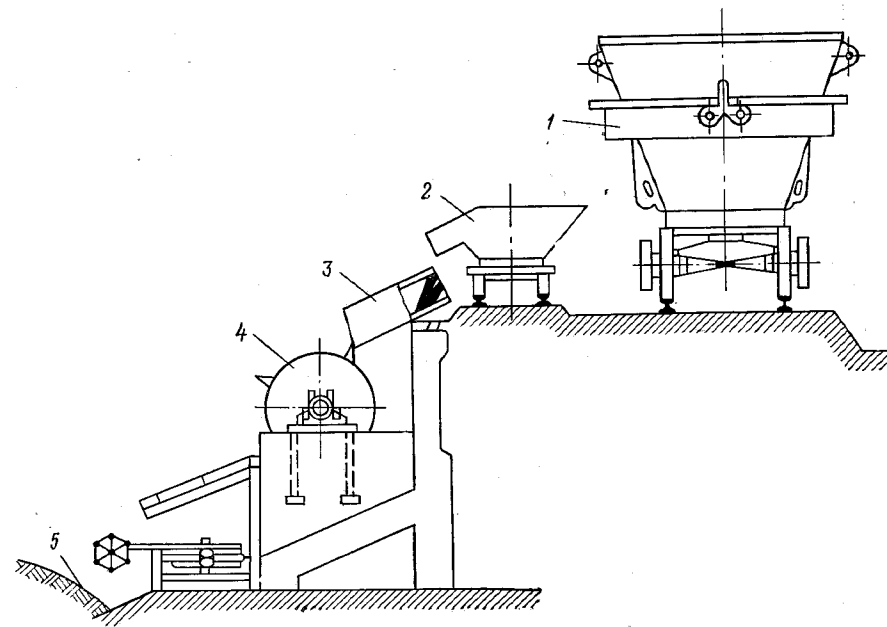


Рис. 54. Полусухой способ грануляции шлака:

1 — шлаковый ковш; 2 — приемная ванна; 3 — желоб; 4 — вращающийся барабан; 5 — гранулированный шлак

В последние годы все больше начинают применять специальные машины, которые позволяют получить шлаковую пемзу со сравнительно небольшой влажностью. С помощью машины Южнии-2 (рис. 55) струя шлакового расплава механически размельчается, насыщаясь одновременно водяным паром, что приводит к вспучиванию шлака. После остывания куски шлаковой пемзы дробят и разгрохачивают на щебень крупностью 70—5 мм и песок (зерна меньше 5 мм). Шлаковый щебень имеет объемную массу 400—800 кг/м³, предел прочности при сжатии 30—150 кгс/см².

Щебень и песок применяют для приготовления легких цементобетонов, как теплоизоляционный материал и др. Щебень из шлаковой пемзы с объемной массой до 1500 кг/м³ может быть использован и для приготовления конструктивных цементобетонных изделий.

Шлаковая вата представляет собой стекловидные нити толщиной до 12 мк и длиной до 60 мм, образующиеся путем распыления тонкой струи шлакового расплава паром, поступающим под давлением к выходному отверстию печи.

Реже шлаковую вату получают путем распыла шлакового расплава быстровращающимся диском. Объемная масса шлаковой ваты 0,15—0,25, коэффициент теплопроводности 0,04—0,05 (при $T = 30^\circ\text{C}$); она малогигроскопична, гнилостойка и морозостойка. Шла-

ковая вата является высокоэффективным теплоизоляционным материалом.

В довоенные годы значительное количество шлакового расплава сбрасывали в отвалы, в результате чего на заводе накопилось значительное количество шлака.

Отвальные доменные шлаки образуются в результате слива в отвалы огненно-жидкого расплава и последующего его остывания. На отдельных металлургических заводах в отвалы, кроме слива неиспользуемых шлаков, к сожалению, сбрасывали колошниковую пыль, отработанную футеровку печей и другие загрязняющие шлак примеси.

Слитый в отвалы шлак в зависимости от его химико-минералогического состава, вязкости и содержания газов, остывая с различной скоростью (что зависит от толщины слоя и температуры воздуха), приобретает камнеподобное кристаллическое строение разной текстуры от плотной до пензоподобной с большим или меньшим содержанием фазы стекла. Разновидности шлаков, подверженные распаду, по мере охлаждения в отвале постепенно растрескиваются, разрушаясь до мучнистой мелочи.

По мере охлаждения слои шлака покрываются сетью усадочных трещин, что облегчает механическую разработку шлака в отвалах. Наличие распавшихся шлаков способствует образованию более рыхлых слоев в отвале.

Отвальные доменные шлаки по структурно-текстурным признакам могут быть:

1. Кристаллической структуры:

а) плотные темно-серого и темновато-зеленоватого цветов с отдельными редкими порами от скрытокристаллической до крупнокристаллической структуры. Плоскость раскола, как правило, ровная, слабошероховатая, ребра острые;

б) ноздревато-пористые с порами разной крупности темно-серого и зеленоватого цветов, структура скрыто- и мелкокристаллическая. Поверхность раскола среднешероховатая;

в) пензоподобные, сильнопористые, скрытокристаллической структуры, поверхность раскола рваная, сильно шероховатая.

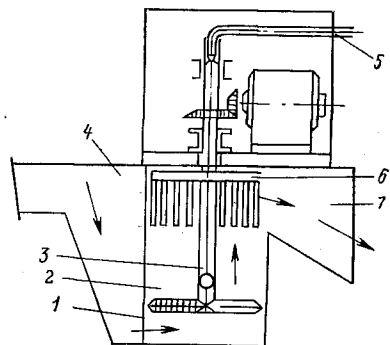


Рис. 55. Машина для производства шлаковой пензы (схема):

1 — окно, соединяющее шлакоприемник с камерой вспучивания; 2 — камера вспучивания шлака; 3 — мешалка; 4 — приемник шлакового расплава; 5 — труба для подачи воды; 6 — вертикальные лопасти мешалки; 7 — лоток для удаления пористого шлака

2. *Стекловидные аморфного строения* хрупкие, грязно-зеленоватого и синеватого цветов; раскол раковистый, ребра режущие.

3. *Распавшиеся* — продукты силикатного распада — доменная мука.

Долголежащий в отвале мучнистый порошок при увлажнении, постепенно цементируясь, образует рыхловатые комки и глыбы — *вторичный шлак*.

Шлаковые старые отвалы обычно разрабатывают предварительным рыхлением буро-взрывным способом с последующей выемкой шлака экскаваторами. Шлаковый материал в дальнейшем подвергают дополнительному дроблению и в необходимых случаях перегротке.

Для характеристики физико-механических свойств отвальных доменных шлаков в табл. 22 приведены некоторые данные по одному из заводов Донбасса.

Щебень из доменных отвальных шлаков, устойчивых против распада, применяют для устройства щебеночных конструктивных слоев дорожной одежды, для приготовления битумоминеральных смесей, черного щебня, цементобетона.

Щебень шлаковый, содержащий продукты силикатного распада и обладающий цементирующей способностью, рационально применять для устройства оснований дорожных одежд по типу шлакобетона.

Добытый в отвале шлак рекомендуется выдерживать на открытом воздухе в течение одного-двух месяцев для устранения возможности попадания в щебень шлака с неустойчивой структурой.

Ковшовые остатки (скордовины). При транспортировании в шлаковозных ковшах от доменных печей к месту грануляции или производства других материалов шлаковый расплав не полностью сливают, часть его с включением значительного количества металла остается в ковшах. Эти ковшовые остатки или скордовины в количестве около 20% от общего количества шлака сбрасывают в отвал. Остывший в отвале шлак разбивают копрами и извлекают металл магнитными шайбами. Освобожденный от крупных кусков металла шлак дробят на щебень.

Таблица 22

Группы	Строение шлака	Плотность, %	Волоноглотение, %	Прочность при расколе, кгс/см ²	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²
1	Плотный	>90	<1,5	>100	>900
2	Тонкопористый	90—80	2,0—3,04	100—70	900—700
3	Пористо-ноздреватый	80—65	3,5—5,0	70—35	700—400
4	Весьма пористый	65—50	6—11	35—25	400—200
5	Пемзовидный	<50	>25	<25	<200

Поскольку шлаки ковшовых остатков представляют смесь из кусков различной склонности к распаду, шлак содержит значительное количество продуктов распада — шлаковой муки.

Основные шлаки, пролежавшие в отвале до полного распада (или подвергнутые для ускорения распада сразу же после слива в отвал термовлажной обработке), состоят из щебня в смеси со шлаковой мукой (до 50%).

Шлаковый щебень неодинаков по составу и характеризуется разной степенью кристаллизации, разной текстурой (от плотных до сильно пористых зерен) с объемной массой от 1,4 до 2,8, прочностью от 200 до 800 кгс/см² и водопоглощением от 2 до 8%.

Шлаковый щебень из ковшовых остатков — это доброкачественный материал для устройства оснований дорожных одежд по типу шлакобетона.

Сталеплавильные шлаки. При выплавке стали из чугуна побочным продуктом являются сталеплавильные шлаки, которые в зависимости от технологии производства могут быть мартеновские, конверторные, электросталеплавильные, ваграночные.

Мартеновский шлак получается в виде отхода при переплавке чугуна на сталь в мартеновских печах. В процессе плавки чугуна с поверхности металла снимают шлак в виде вспученной массы. Этот шлак сбрасывают в отвалы. Он не используется для строительных целей.

Когда сталь доведена до готовности, из мартеновской печи сливают накопившийся над металлом шлак в шлаковницы, где он медленно остывает. Из шлаковниц шлак в виде глыб («козлов») сбрасывают в отвал или на шлаковые площадки; этот шлак обычно содержит небольшое количество включений металла. Наконец, после слива стали оставшийся шлак со значительным содержанием металла поступает после остывания на специальные площадки, где глыбы шлака разбивают копрами и извлекают из него электромагнитными сепараторами металл. Металл возвращают снова на плавку, а оставшийся шлак перемещают в отвал. Этот шлак содержит заметное количество включений металла.

В зависимости от состава шихты и материала набойки (наварки) образуются кислые или основные шлаки. Если в шлаке нет известковых включений, такой шлак только вначале дает ряд трещин вследствие неравномерного охлаждения. Шлаки же с неравномерными включениями пережженной извести постепенно под влиянием влаги растрескиваются на мелкие отдельности (известковый распад), при этом процесс разрушения протекает продолжительное время.

Мартеновские шлаки могут быть плотные, пористые и ноздреватые, кристаллической и стекловатой структуры. В отвалах находится шлак всех разновидностей с примесью боя шамотного кирпича от футеровки печей. Поэтому при разработке отвалов шлак нуждается в сортировке, расколе глыб и последующем дроблении на щебень.

Для дорожно-строительных целей шлак пригоден преимущественно второго слива, кристаллической структуры и не содержащий заметного количества зерен пережога извести.

При сортировке шлака отбрасывают стекловидные разности, а также глыбы шлака с значительным содержанием включений зерен металла.

Кристаллический плотный мартеновский шлак обладает прочностью более 1000 кгс/см², малой водопоглощаемостью, он морозостоек. Щебень из мартеновского шлака применяют в дорожном строительстве наравне со щебнем из прочных изверженных пород.

Конверторный шлак представляет собой смесь кусков разной текстуры, темного цвета и разной устойчивости против распада. Обычно он содержит то или иное количество шлаковой муки.

Химико-минералогический состав и его свойства зависят от состава шихты, технологии плавления, а также характера охлаждения шлакового расплава.

Химический состав некоторых конверторных шлаков следующий: SiO₂ 15—20%; CaO 50—56%; Al₂O₃ 1,5—2,0%; MgO 1—2%; MnO 5—6%; FeO 15—19%; P₂O₅ 2,0—2,5%; SO₃ 0,3—0,4%.

Физико-механические свойства шлака тонкопористой структуры характеризуются объемной массой 3,10—3,30 г/см³, водопоглощением 0,5—2%; морозостойкостью свыше 100, прочностью при сжатии 800—1200 кгс/см².

Шлак не обладает устойчивой структурой, поэтому после слива расплава, охлаждения его водой и освобождения от включений металла шлак дробят на щебень и выдерживают на воздухе до двух месяцев (приближенное время возможного распада).

Конверторный шлак применяют в дорожном строительстве так же, как и щебень из мартеновских шлаков.

Электросталеплавильные шлаки обычно основные, склонные к распаду, поэтому в отвалах они состоят из смеси плотных кусков с большим количеством шлаковой муки. Кусковой шлак имеет плотную текстуру, объемную массу 3,20—3,40, прочность 600—1300 кгс/см².

Смесь прочного щебня с шлаковой мукой используется для устройства оснований дорожных одежд по типу шлакобетона.

Ваграночные шлаки получают как отход при переплавке чугуна в литейном производстве в шахтных печах — вагранках, в которых плавка ведется на коксе с добавкой флюсов (обычно чистых известняков). При нормальном ходе плавки шлак имеет зеленоватый цвет; при избытке флюсов он приобретает каменистый излом.

Вылитый из вагранки шлак отвозят ковшами на специальные площадки, где после остывания его сортируют, извлекая металл и удаляя стекловидные разности. Кристаллический разной плотности шлак дробят на щебень. Вследствие малого выхода шлаков, а также большого количества в них металла, практического значения они как дорожно-строительный материал не имеют.

Прочие виды шлаков. **Медеплавильные шлаки** получают как отход при выплавке медных и колчеданистых руд, а также при пере-

плавке медных отходов. Химический состав этих шлаков разнообразен и бывает: SiO_2 30—39%, Fe_2O_3 30—45%, Al_2O_3 6—12%, CaO 6—8%, MnO 0,8—1%, SO_3 1—2%.

Особенностью медеплавильных шлаков является то, что они кристаллизуются в течение 1 ч при температуре 900—1250°С и дальнейшее, даже быстрое остывание не оказывает существенного влияния на кристаллизацию. Вследствие этого шлаки в отвале обладают однородной мелкокристаллической структурой. Цвет шлака — черный с синеватым оттенком. Объемная масса 3,3—3,8 предел прочности при сжатии 1000—2000 кгс/см², они тверды и морозостойки. Применяют медеплавильные шлаки в виде щебня наравне со щебнем из прочных изверженных пород.

Никелевые шлаки обладают такими же высокими показателями физико-механических свойств, как и медеплавильные.

Топливные (котельные) шлаки представляют собой остатки от сжигания твердого минерального топлива (каменного угля, кокса, бурого угля) в топках. В зависимости от состава топлива и условий его сжигания различают следующие виды шлака: провал — преимущественно зола с угольной мелочью, скопляющейся в зольнике; унос — мелочь, выносимая тягой через дымовую трубу, она накапливается в специальных камерах под трубами или в пылеуловителях; собственно шлак, прошедший стадию плавления в топке и не провалившийся через колосниковую решетку. Сплавившиеся в процессе сгорания топлива минеральные составляющие в основном и обуславливают прочность шлака. Наибольший выход сплавившихся кусков получается при сжигании кускового антрацита, наибольшее же количество мелочи (ировала и уноса) — при сгорании угля — штыба.

По внешнему виду топочный шлак представляет скопление различных по величине, форме и строению кусков обычно пористоноздреватого сложения, частично оплавившихся, с примесью негоревших или ооксовавшихся частиц угля, обломков пустой породы (сланцев) и посторонних примесей. По химическому составу шлаки состоят из кремнезема, полуторных окислов, щелочных соединений в общем количестве до 70% и сернистых соединений до 5%. Плотность шлака около 2,5, объемная масса 0,65—1,10, водопоглощение может достигать до 40%, при этом шлак, быстро поглощая воду, отдает ее весьма медленно.

Продолжительное (не менее двух месяцев) выдерживание шлака на воздухе повышает его качество. В необходимых случаях шлак подвергают сортировке.

Топливные шлаки как местный строительный материал применяют для изготовления шлакобетона, шлакоблоков, шлаконабивных элементов зданий как теплоизоляционный материал. Шлаковая мелочь, освобожденная от частиц угля, в измельченном состоянии является местной активной добавкой к минеральным вяжущим.

В настоящее время практический интерес для дорожного строительства представляет шлакозольный материал теплоэлектростанций (ТЭЦ), работающих на угле. Продукты сжигания из топок уда-

Номера отобранных проб	Размер сит, мм							
	5	3	1,25	0,63	0,3	0,16	0,071	<0,071
	Количество частиц мельче данного размера, %							
Проба № 1	12	17	37	14	10	2	3	5
Проба № 2	—	—	20	8	10	11	12	39

ляют гидровыносом в специальные бассейны-отстойники, при этом шлак гранулируется и выпадает ближе к трубам, а мелкие частицы золы относятся водой. В результате в отстойниках накапливается плохо отсортированная смесь мелкого зернистого шлака, золы с примесью небольшого количества частиц негоревшего угля. Гранулометрический состав шлакозольного материала приведен в табл. 23.

Зола обладает слабой активностью (гидравличностью), которая может быть усилена добавками гидратной извести.

Шлакозольный материал может быть использован для укрепления грунтов в основании дорожных одежд, как добавка к мелкозернистым пескам для улучшения их качества в цементно- и асфальтобетонных смесях, а зольная часть (лучше с добавкой 2% извести), как минеральный порошок для битумо-минеральных смесей.

§ 22. КАМНЕЛИТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Камнелитные изделия получают путем расплавления предварительно подготовленной шихты из горных пород и соответствующих добавок к ним, отливки расплава в формы, кристаллизации изделия, отжига и охлаждения его. В качестве сырья для этой цели могут быть использованы отходы при переработке базальтов и диабазов, т. е. пород, недонасыщенных кремнекислотой и содержащих значительное количество щелочноземельных окислов.

По исследованиям Е. М. Каленова и Т. Т. Троцько, каменное литье высокого качества можно получить и из глин с необходимыми добавками. Так, шихта, которую использовали для опытных плавок, состояла из глины (мергелистой) спондиловой — 70—75%, доломита — 8—10%, магнезита каустического — 10—12%, железного сурика — 4—6% и плавикового шпата — 1—2%. Температура плавления шихты приведенного состава равна 1380—1420°С, температура струи расплава при заполнении форм — 1280—1320°С; кристаллизация протекает при 980—1050°С в течение около 2 ч.

Плавку базальта, диабазы или сырьевой шихты можно осуществлять в мартеновских или ваграночных печах. Формы для отливок могут быть керамические, металлические или из формовочной земли. При непрерывной отливке изделий расплавленный материал поступает в так называемые копильники, назначение которых — соз-

дать запас однородной массы, направляемой при 1180—1220°С в предварительно подогретые до 600—700°С формы. Для наиболее полной кристаллизации и отжига отлитый в формы расплав помещают в специальные печи без подвода дополнительного тепла при тщательной теплоизоляции форм с остывающим расплавом.

Из каменного литья изготавливают бруски, плиты, трубы и другие изделия специального назначения. Особенностью их является: однородная мелкокристаллическая структура, предел прочности при сжатии 2500—6000 кгс/см², высокая твердость, морозо- и кислотоустойчивость. В соответствии с такими высокими показателями механических и физических свойств литые каменные изделия применяют для трубопроводов и лотков сыпучих материалов, для футеровки шаровых мельниц, при устройстве резервуаров для агрессивных веществ, для элементов сооружений, где необходима большая прочность и износостойкость.

При сплавлении чистого кварцевого песка и доломита с добавкой плавикового шпата, литые изделия после отжига и кристаллизации имеют светлую окраску и обладают большой прочностью, твердостью и стойкостью. Эти изделия применяют в машино- и приборостроении.

§ 23. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА

Искусство получения неорганического стекла известно с древнейших времен, однако стекольное производство получило быстрое развитие лишь после изобретения способов получения листового стекла.

Научные основы технологии производства стекла в СССР были разработаны А. А. Лебедевым, Е. А. Порай-Кошица, И. В. Гребешковым, И. И. Китайгородским и др.

Стекло представляет собой твердый раствор, состоящий из силикатов, алюминатов, боратов натрия, калия, кальция и др. Обыкновенное известково-натриевое стекло по составу близко к $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$. В технологии стекла различают стекломассы и стеклоизделия. Стеклomассы разделяют по химическому составу, например, силикатные — главный стеклообразующий компонент SiO_2 , алюмосиликатные Al_2O_3 и SiO_2 , боросиликатные B_2O_3 и SiO_2 . Стеклоизделия в зависимости от назначения и применения разделяют на строительные, технические и другие с дальнейшим подразделением по признакам, например оконное, зеркальное, полое, армированное.

Для приготовления стекла применяют чистый мелкозернистый кварцевый песок, соду или сульфат натрия, поташ, доломит, мел и вспомогательные добавки B_2O_3 , MnO , SnO_2 , CaO .

Химический состав обычного оконного стекла таков: SiO_2 71—72%; CaO 7,5—8,5%; MgO 1,5—3,5%; Na_2O 11—15,5%; Al_2O_3 0,5—2,6%; Fe_2O_3 до 0,5%; SO_3 до 0,5%.

Изготовление стекла включает следующие технологические процессы: подготовку составляющих и приготовление шихты, расплав шихты, изготовление и дальнейшую обработку стекла.

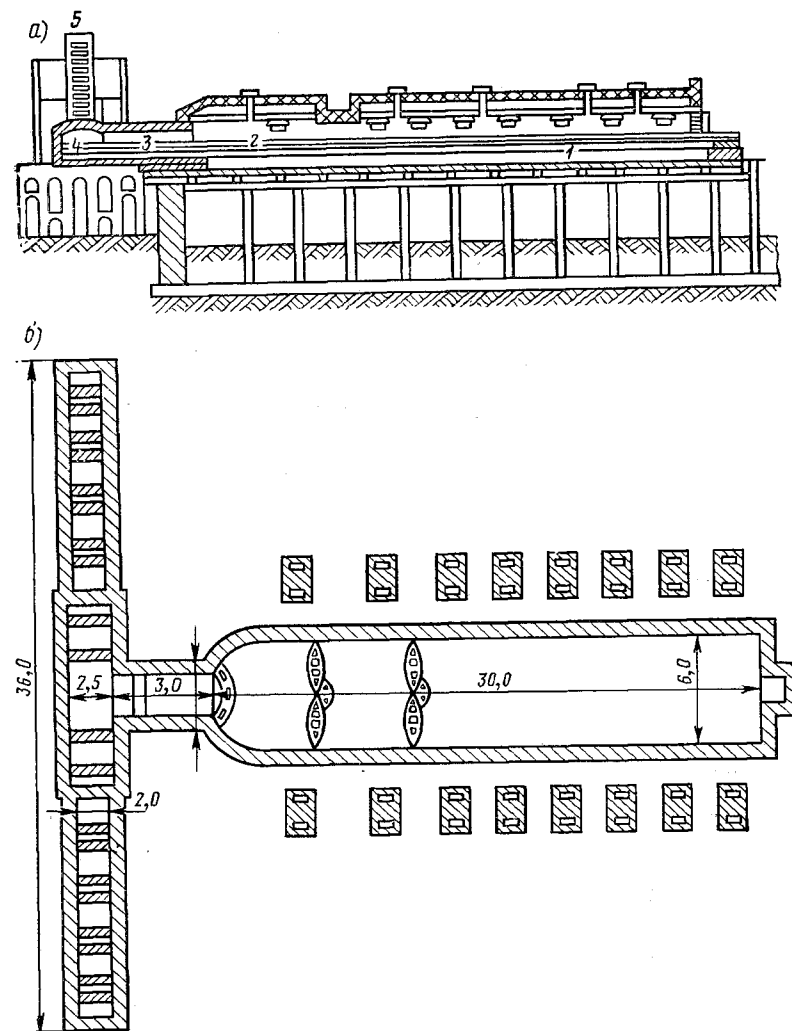


Рис. 56. Ванная печь для производства стекла:

а — продольный разрез печи; б — план печи и подмашинного канала;
1 — варочная часть; 2 — студочная часть; 3 — перешеек; 4 — подмашинный канал;
5 — машина

Предварительно подготовленную шихту плавят обычно в ваннах непрерывного действия (рис. 56). Процесс варки включает ряд операций, преследующих цель придание однородности расплаву, удаление из него пузырьков газообразных веществ и возможных посторонних примесей. Температура плавки шихты около 1500°С. После того как расплав приобретает однородность, температуру несколько снижают для придания определенной вязкости расплаву. Затем на поверхность расплава опускают «лодочку» из огнеупорного мате-

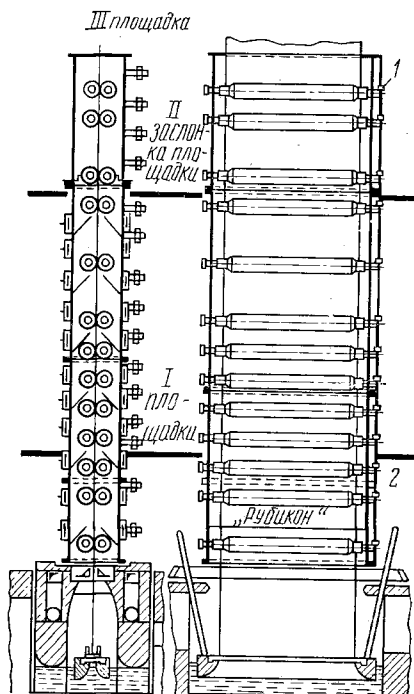


Рис. 57. Машина вертикального вытягивания стеклянного листа:
1 — вертикальный вал; 2 — штанга нажимного механизма

риала, имеющую посередине щель. Выдавливаемую сквозь щель вязкую стекломассу захватывают и медленно вытягивают между спаренными вальцами в виде прозрачной ленты определенной толщины. В последнее время стекломассу вытягивают в ленту со свободной поверхности расплава, что улучшает качество стекла (рис. 57).

Стекло — однородный, изотропный, аморфного строения материал, обладающий плотностью 2,2—2,6, твердостью (по шкале Мооса) выше 5, пределом прочности при сжатии 6000—12500 кгс/см², а при изгибе (для отожженного стекла) 450 кгс/см² (для сталинита — закаленного стекла — 2500 кгс/см²) и обладает слабой сопротивляемостью удару. Стекло обычно прозрачно, но не пропускает ультрафиолетовых лучей (кроме особых сортов стекла — увиолевого). Кислоты действуют на стекло слабо, за исключением плавиковой, которая разъедает его, чем пользуются при нанесении рисунков на стекло.

Растворы щелочей и даже теплая вода при длительном воздействии корродируют стекло.

Пороки стекла, снижающие в той или иной мере его качество, возникают при неправильном ведении производства. Главнейшие пороки следующие: *камни* — малопрозрачные или непрозрачные включения в стекле, *шлыры* — крупные камни однородного стекла в виде бугорков и узелков в стекле, *свиля* — прозрачные нити, прожилки, полосы и т. п., состоящие из стекла другого состава; *пузыри*, которые часто заполнены газами, и *мошка* — мелкие газовые пузырьки.

Стекло оконное применяют для остекления световых проемов зданий. Заводы поставляют одинарное оконное стекло толщиной 2 мм, полутурное — 3 мм, двойное — 4 мм и утолщенное — 5 и 6 мм. Размеры листового стекла 250×250, 600×1200 и 1200×1600 мм, а утолщенного 450×800 и 2200×3500 мм.

Кроме указанных видов оконного стекла, для специальных целей выпускают декоративное, узорчатое, теплопоглощающее, светорассеивающее и цветное, а также стекло повышенной прочности, закаленное и безопасное (сталинит), армированное и др. Листовое

оконное стекло для транспортирования и хранения на складах устанавливают в ящики с прокладкой древесной стружкой.

Стеклянные изделия изготавливают из расплава специального состава путем проката, штамповки, отливки и др.

Стеклянные камни пустотелые или сплошные бывают шестигранной (рис. 58) и четырехгранной формы; их применяют как вставки при кладке наружных стен в оконных проемах, в просветах железных решеток и др.

Стеклянная черепица плоская и имеет такие же размеры, как и глиняная, применяется как кровельный материал. Стеклянный шифер (волнистое листовое стекло) изготавливают на прокатных станах размером 1×3 м и толщиной 6 мм; его применяют как кровельный материал сушилных сараев, соляриев и пр.

Стеклянные трубы изготавливают из расплава способом горизонтального или вертикального вытягивания или способом навивки. Трубы имеют длину 1—3 м, диаметр 20—150 мм. Соединяют трубы электросваркой или при помощи резиновых муфт. Стеклянные трубы прочны, слаботеплопроводны, устойчивы против коррозии. Их применяют в химической и пищевой промышленности, для устройства водопроводов.

Пеностекло изготавливают путем спекания смеси порошкообразных стекла и известняка (или угля) и последующей обработки в плиты. Пеностеклянные плиты обладают ячеистой текстурой с объемной массой 0,2—0,5, пределом прочности при сжатии от 15 до 100 кгс/см², коэффициентом теплопроводности 0,06—0,09, морозостойкостью. Пеностеклянные плиты поддаются распиловке. Это высокоэффективный тепло- и звукоизоляционный материал. Технологию получения пеностекла разработал проф. И. И. Китайгородский.

Катафот представляет собой стеклянную полусферическую линзу, зажим и отражатель. Катафоты помещают в обои из тонкого алюминиевого листа, которые вставляют в отверстия щитового дорожного знака. Катафоты, устроенные из сплавленных мелких шариков, более эффективно отражают свет фар автомобиля. Катафоты бывают диаметром 20, 28, 51 мм и др. Они могут быть бесцветные, красного, зеленого и других цветов.

Ситалл¹ — материал из стекла тонкокристаллической структуры, плотный, вязкий, прочный, твердый, разной окраски от черной, желтой до белой.

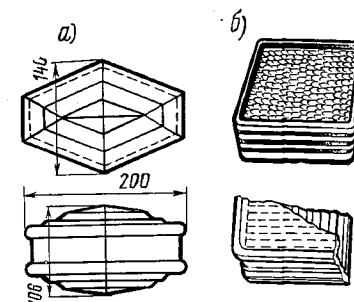


Рис. 58. Стеклянный пустотелый камень:
а — для оконных проемов; б — для перекрытий

¹ Ситалл — термин, образованный из слов стекло и кристалл.

От стекла ситаллы отличаются тоннокристаллической структурой при содержании кристаллической фазы до 95%, что придает им исключительно высокие показатели механических свойств и стойкость к термическим воздействиям.

Технология производства ситаллов заключается в том, что в расплав стекла определенного химического состава вводят катализаторы кристаллизации (зародышеобразователи), например фториды, фосфаты и формуют изделия необходимой формы, которые подвергают термической обработке вначале при 700°С, а затем при 900—1100°С без размягчения или деформации изделий. По исходному сырью ситаллы делят на стеклоситаллы (из расплава стекла), петроситаллы (из расплава горных пород), шлакоситаллы (из расплава металлургических шлаков).

Ситаллы имеют объемную массу 2,5—2,6, предел прочности при сжатии до 6000 кгс/см², при изгибе — до 250 кгс/см², температуру размягчения 1000—1350°С, твердость больше стекла. Ситаллы применяют в приборо- и машиностроении, в строительстве, для футеровки мельниц, лотков сыпучих материалов и др.

Стекловолоконное волокно получают из расплавленного стекла в виде тонких нитей разного диаметра и длины. Прочность волокна, зависящая от диаметра нити, в 2—2,5 раза больше прочности штапельного волокна и характеризуется большой химической устойчивостью. Стекловолоконное волокно вырабатывают из обычного или специального по составу щелочноалюмосиликатного или малощелочного алюмоборосиликатного расплава стекла.

Из стекловолоконного волокна диаметром 5—7 мкм изготавливают стекловату, стекломаты и другие звуко- и теплоизоляционные материалы. Из стекловолоконного волокна производят плиты, рулонные материалы, скорлупы, стеклоткани, которые обрабатывают синтетическими смолами без или с введением необходимых пигментов. Стеклопластики применяют как кровельный, гидроизоляционный и конструктивный материал.

ГЛАВА IV

Минеральные вяжущие материалы

§ 24. ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Минеральные (неорганические) вяжущие материалы представляют собой обычно порошкообразные вещества, которые после затворения водой, а в отдельных случаях слабым раствором некоторых солей способны постепенно переходить из тестообразного (вязкожидкого) состояния в твердое, приобретая свойства камня.

Минеральные вяжущие материалы являются одним из основных материалов в строительстве. Их применяют для изготовления строительных растворов, для производства бетонных и железобетонных элементов инженерных сооружений, томполажа скважин, укрепления

и стабилизации грунтов дорожных одежд, теплоизоляции, гидроизоляции и др.

Для удовлетворения потребностей жилищного и промышленного строительства, строительства дорог, гидротехнических и других сооружений необходимо огромное количество различных минеральных вяжущих материалов. Для строительства, например, только 1 км автомобильной дороги с цементнобетонным покрытием необходимо примерно 600 т цемента.

Все многообразие минеральных вяжущих по характеру твердения делят на две группы:

Вяжущие материалы воздушного твердения (или воздушные вяжущие материалы) обладают способностью после затворения водой твердеть в сухой среде, — воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие и растворимое стекло.

Вяжущие материалы водного твердения (или гидравлические вяжущие материалы) после затворения их водой твердеют на воздухе и в воде, причем во влажной среде эти вяжущие приобретают большую прочность. Представителями этой группы являются цементы.

Гидравлическая известь и романцемент по составу и по особенностям процессов твердения занимают как бы промежуточное место между воздушными и гидравлическими вяжущими: после затворения водой, начав твердеть на воздухе, они продолжают твердеть как на воздухе, так и во влажной среде. При этом при дальнейшем твердении во влажной среде они приобретают большую прочность. Поэтому гидравлическую известь и романцемент относят также к гидравлическим вяжущим материалам.

В последние годы в строительстве начали применять минеральные вяжущие, которые наиболее эффективно твердеют при автоклавной обработке (при давлении 8—10 атм в атмосфере, насыщенной паром). К этой группе относят известково-кремнеземистые, бесклинкерные шлаковые и другие вяжущие материалы.

Минеральные вяжущие материалы и в первую очередь глину, гипс и известь начали применять более чем за 2,5 тыс. лет до нашей эры. В Вавилоне, Египте, Древней Греции и Риме научились применять в качестве цементирующего материала известь для строительства сооружений в сухой среде, а затем и вяжущих из смеси извести и вулканического пепла или толченого кирпича для сооружения водоводов. В конце XVII века в Голландии начали применять в качестве гидравлического вяжущего смесь извести и толченого вулканического туфа. В начале XIX века во Франции был открыт способ изготовления гидравлической извести путем обжига глинистых известняков.

В 1796 г. англичанин Паркер предложил способ приготовления романцемента путем обжига мергелистых известняков с последующим измельчением продуктов обжига. В 1807 г. В. М. Севергин описывает свойства продуктов обжига мергелей как вяжущего, при этом указывает, что измельченный продукт приобретает гидравлические свойства. Позднее, в 1822 г., проф. Шарлевиль опубликовал результаты исследования мергелей Петербургской губернии для полученных гидравлических вяжущих.

При восстановлении Кремля в Москве после Отечественной войны 1812 г. работал военный техник Егор Челиев, который в изданном им труде в 1825 г. обобщил свой опыт изготовления гидравлического вяжущего, названного им цементом.

Англичанин Аспдин в 1824 г. заявил патент на изготовление гидравлического вяжущего, которое им было названо портландцементом. Полученное вяжущее после затвердения по прочности и цвету напоминало камень, добываемый у г. Порт-ланда.

Еще в 1881 г. профессора А. Р. Шуляченко и И. Г. Малюга разработали первые нормы на отечественный портландцемент, а также методы испытания цемента. Основы производства пуццоланового портландцемента заложены в работах Н. Н. Лямина, С. А. Дружинина, А. Р. Шуляченко. Развивая исследования А. Р. Шуляченко, советские профессора В. А. Кинд и В. Н. Юнг значительно расширили и углубили теоретические положения пуццоланизации цемента. Исследования акад. А. А. Байкова, проф. В. Н. Юнга, доц. С. А. Огорокова развили теоретические основы твердения цемента с учетом их химико-минералогического состава, а акад. А. А. Байков заложил научные основы коррозионной устойчивости цемента.

Уже в первые годы после Великой Октябрьской социалистической революции советские ученые Н. М. Беляев, М. П. Александрин, Б. Г. Скрамтаев, К. С. Завриев и другие успешно развили теоретические положения технологии цементобетона.

Благоприятные условия, созданные Советским правительством, позволили институтам и заводским лабораториям значительно развить теорию производства цемента, успешно используя положения физико-химической механики, разработанные акад. П. А. Ребиндером.

Исследования П. П. Будникова, В. М. Москвина, П. И. Баженова, А. В. Волженского, Б. Г. Скрамтаева, М. И. Хигеревича и других содействовали не только увеличению выпуска цемента, но позволили значительно улучшить их качество, обеспечив стране ряд новых вяжущих материалов (быстротвердеющие, пластифицированные, гидрофобизированные, сульфатостойкие, расширяющиеся). Активность цемента была повышена. С 1961 г. заводы выпускают портландцемент марок 300, 400, 500, 600 и 700.

Необходимо отметить, что до 1938 г. портландцемент выпускали только трех марок («0» — 160 кгс/см², «00» — 275 кгс/см² и «000» — 420 кгс/см²).

Быстро развивающаяся строительная индустрия СССР требовала не только роста выпуска, но и расширения ассортимента цемента и улучшения их качества. Это можно было достигнуть на базе планомерно развивающихся исследований наших ученых, работающих в тесном контакте с производством.

Такому быстрому развитию цементной промышленности содействовали научные исследования, кроме ранее названных ученых, коллективов научных работников под руководством профессоров Б. Г. Скрамтаева, Ю. М. Бутта, П. П. Будникова, В. Ф. Журавлева, В. В. Михайлова, О. П. Мчедлов-Петросяна, В. Т. Ратинова и др.

§ 25. ВОЗДУШНАЯ ИЗВЕСТЬ

Определение и краткая характеристика сырья. Воздушная известь представляет собой вяжущий материал, получаемый в результате обжига до возможно полного разложения чистых или доломитизированных известняков или мела, содержащих глинистого вещества не более 8%.

Полученную таким способом известь в виде кусков белого или сероватого цвета называют негашеной — СаО (комовой или кипелкой). Если известь содержит примесь окиси магния не более 5%, ее называют *кальциевой*, при содержании окиси магния от 5 до 20% — *магнезиальной*, а при 20—35% — *доломитизированной*.

В природе известняки как осадочная порода содержат примеси углекислого магния, кварца, глинистого вещества.

Чем чище используемые известняки, тем «жирнее» получается известь и, наоборот, чем больше примесей они содержат, тем более «тощая» получается известь.

В зависимости от соотношения углекислого кальция и примесей принято различать следующие разновидности карбонатных и глинистых пород, которые содержат СаСО₃ и песчано-глинистое вещество:

	СаСО ₃	Песчано-глинистое вещество
Чистые известняки	98—100 %	До 2 %
Мергелистые известняки	90—98 %	2—10 %
Известняковые мергели	75—90 %	10—25 %
Мергели	40—75 %	25—60 %
Глинистые мергели	10—40 %	60—90 %
Мергелистые глины	2—10 %	90—98 %
Глины	≤2 %	>98 %

Известняки, содержащие примесь магнезита от 5 до 25%, называют *магнезиальными*, или *доломитизированными*.

Производство воздушной извести. Добытую в карьере породу (известняк или мел) дробят и подвергают обжигу в шахтных или вращающихся печах. Крупность дробленой породы зависит от вида печи. Шахтные печи бывают пересыпные или короткопламенные (рис. 59), в которые загружают куски породы размером 10—15 см сверху послойно с топливом (каменным углем, коксом). Из таких печей комовую известь выгружают вместе с золой. Шахтные печи

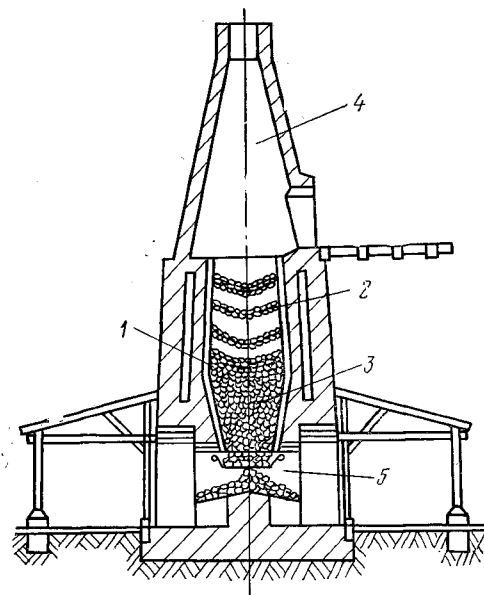


Рис. 59. Пересыпная шахтная печь:
1 — зона обжига; 2 — зона подогрева; 3 — зона охлаждения; 4 — загрузка; 5 — выгрузка

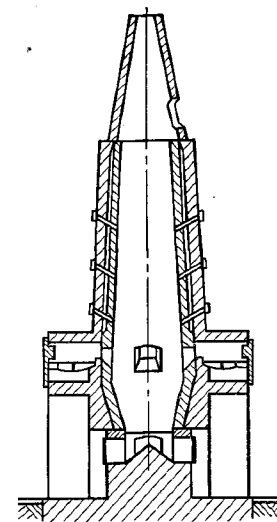
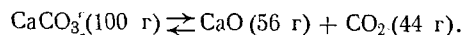


Рис. 60. Длиннопламенная шахтная печь с выносными топками

с выносными топками или длиннопламенные (рис. 60) имеют внизу обычно четыре топки, в которых сгорает топливо. В печь загружают крупные куски породы, которые подвергают обжигу.

Наиболее чистый продукт обжига и наиболее полный обжиг происходят в газогенераторных печах, устроенных таким образом, что сгорающее в топке топливо превращается в газообразное вещество, которое и вводят в печь для сжигания. Более совершенные вращающиеся печи загружают мелкодробленным известняком, который при медленном вращении печи подвергается равномерному обжигу. В процессе обжига известняк (или мел), нагреваясь до температуры 910°C , утрачивает воду и диссоциирует с большим поглощением тепла (до $42,5$ ккал) по такой реакции:



Если известняк содержит примеси глинистого вещества, помимо CaO образуется небольшое количество силикатов, алюминатов и ферритов кальция.

Практически в заводских печах температура обжига может достигать $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$, что зависит от крупности и плотности кусков, количества и качества примесей в породе, конструкции печи.

При обжиге необходимо постоянно и полностью удалять углекислый газ, а обжиг вести таким образом, чтобы все куски были равномерно обожжены, так как недожог (CaCO_3) является балластом и должен быть в последующем удален. Пережженные куски (пережог) образуются в местах более высоких температур $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ в виде оплавленных кусков. Наличие в обыкновенной строительной извести пережога снижает ее качество, так как пережог при затворении водой весьма медленно гасится. Поэтому наличие зерен пережога в строительном растворе приводит к тому, что при гидратации зерен связанное с этим увеличение объема вызывает растрескивание уже затвердевшего раствора.

Гашение извести. Для использования в строительстве воздушную известь гасят, т. е. переводят в гашеную или в известковое тесто. Гашение протекает по следующей реакции: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15,62$ ккал, т. е. при гашении выделяется значительное количество тепла. В этом случае гидратная известь приобретает тонкомучнистое состояние (размер зерен менее $0,01$ мм) с увеличением объема в $3\text{--}3,5$ раза (для жирной извести и в $1,5\text{--}2$ раза (для тощей извести). Полученная при гашении малым количеством воды гидратная известь, значительно разрыхленная за счет резкого увеличения пустотности, называется *пушонкой*. Объемная масса ее $0,40\text{--}0,45$, а в уплотненном состоянии — $0,7$.

Для гидратации необходимо добавлять около 33% воды, однако в зависимости от состава извести, размера кусков и температуры воды обычно берут в 2 раза больше.

На малых строительных объектах при отсутствии машин-гидраторов известь гасят в творильных ямах с повышенным количеством воды, при этом известь переводят непосредственно в *известковое тесто*, которое содержит воды до 50% . Для перевода извести в изве-

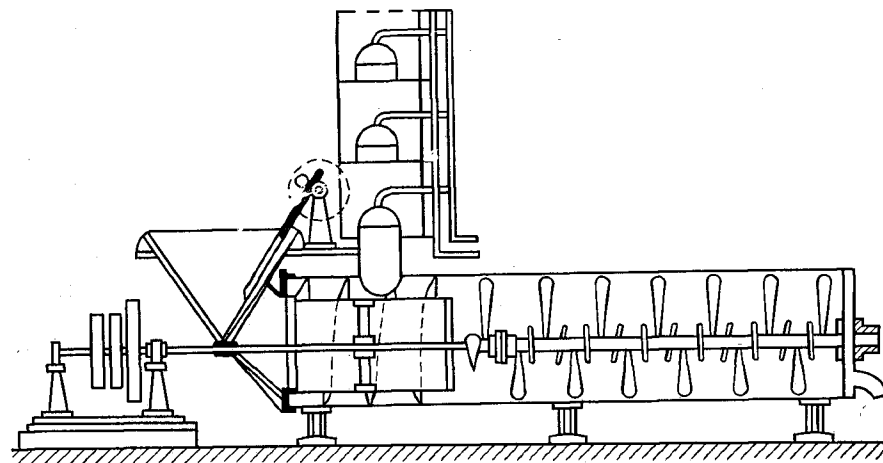


Рис. 61. Гидратор для гашения извести

стковое тесто обычно берут на 1 кг кипелки $2,5$ л воды. Для ускорения гашения извести в творильных ямах комовую известь предварительно дробят на мелкие куски и затем обливают теплой водой.

Значительно быстрее и полнее протекает гашение, если пропускать комовую известь через машины, в которых она размалывается в водной среде (безотходное гашение). Одна из многочисленных конструкций гидраторов приведена на рис. 61. Полученное с помощью гидраторов известковое тесто обладает хорошо выраженной пластичностью. При разбавлении известкового теста водой (около 70% от веса пушонки) и последующем перемешивании образуется *известковое молоко*. После отстаивания его в осадок перейдет известковое тесто, а в растворе будет *известковая вода*.

Помол комовой извести. По предложению И. В. Смирнова и после проведенных исследований Б. В. Осина начали применять и *молотую известь*. Комовую известь после предварительного дробления размалывают в мельницах до тонкого мучнистого состояния (зерен размером менее $0,08$ мм должно быть не менее 85%).

Применение молотой извести имеет ряд преимуществ: используется вся комовая известь, устраняется не только вредное влияние, но и рационально используется пережог, утилизируется тепло, которое выделяется при гидратации извести, что ускоряет процессы схватывания и твердения извести. Особо эффективен этот способ при изготовлении извести из мергелистых известняков.

Процессы, происходящие при твердении извести. Затворенная оптимальным количеством воды известь на воздухе начинает медленно схватываться и твердеть. Так, известково-песчаный строительный раствор при твердении в сухой среде на 28 -е сутки достигает прочности $2\text{--}5$ кгс/см², а на 90 -е сутки — $4\text{--}8$ кгс/см². В процессе твердения вначале испаряется свободная, физически не связанная вода, в результате тесто уплотняется, а затем из насы-

щенного раствора начинает кристаллизоваться $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Вследствие взаимодействия гидратной извести с углекислым газом воздуха на поверхности происходит процесс карбонизации с выделением воды по реакции: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Образовавшаяся на поверхности корочка карбоната кальция затрудняет проникновение CO_2 вглубь, поэтому в более глубоких слоях происходит кристаллизация преимущественно $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Таким образом, дальнейшее нарастание прочности известкового теста обуславливается уплотнением студнеобразной массы при ее высыхании, кристаллизацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и ее карбонизацией.

Выделяемое при затворении молотой извести тепло заметно ускоряет процесс твердения и высыхания извести. В необходимых случаях для ускорения твердения известкового теста к нему прибавляют цемент, гипс и другие добавки. Так как при твердении извести происходит неравномерная усадка, для устранения растрескивания к тесту прибавляют наполнители (песок).

Технические требования к воздушной извести. По содержанию активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, выходу известкового теста и содержанию непогасившихся зерен воздушную негашеную комовую или молотую известь делят на два сорта в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 24.

Таблица 24

Показатели	Сорт извести	
	I	II
Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, считая на сухое вещество, %	85	70
Содержание непогасившихся зерен в комовой извести, %, не более	10	20
Тонкость помола — остаток частиц, %:		
на сите 0,63, не более	2	2
» » 0,08 » »	10	10
Скорость гашения, мин:		
быстрогосящая до	20	20
медленногсящаяся, более	20	20

По показателю прочности при сжатии кубических образцов, приготовленных из нормального раствора (одна часть извести и три части песка), на 28-е сутки твердения в сухой среде для молотой воздушной извести установлены четыре марки: 4, 10, 25 и 50.

Применение воздушной извести. Воздушную известь применяют для приготовления известково-песчаных и смешанных строительных растворов, для кладки и штукатурки, для стабилизации суглинистых грунтов, побелки, подгрунтовки, приготовления водных красок. Воздушная известь молотая и пушонка является существенной добавкой при производстве известковых смешанных цементов на основе молотых шлаков, горелых пород, опоки и др. Известь применяют при изготовлении известково-песчаных кирпичей, блоков, а также силикатных изделий.

бень. Внутри аппарата по трубам проходят газы, подогревающие гипс, который выделяет воду в парообразном состоянии, создавая давление до $1,3 \text{ кгс/см}^2$. Гипс в аппарате находится 6 ч, а затем давление пара снижают, и гипс высушивается в том же аппарате в течение 3 ч.

При производстве строительного гипса в открытых печах образуется β -полугидрат с мелкими, плохо выраженными кристаллами. Для получения рабочей консистенции строительного гипса воды для затворения берут 60—80%; на химическую же реакцию твердения необходимо только около 19% воды. Поэтому при затворении гипса избыточным количеством воды, образующейся при твердении, студень двухводного сульфата кальция сильно разбавляется водой, а уже образовавшиеся кристаллики раздвигаются пленками воды, что замедляет процесс твердения и приводит в конечном счете к заметному снижению прочности. Высокопрочный гипс, состоящий из α -полугидрата, приобретает рабочую консистенцию при затворении его водой в количестве примерно 40%, что и обуславливает его сравнительно высокую прочность.

Высокопрочный гипс обладает теми же сроками схватывания, что и строительный гипс, однако прочность его на седьмые сутки может быть 150, 200, 250, 300 и 400 кгс/см^2 . Высокопрочный гипс обладает повышенной ползучестью, т. е. появлением неупругих деформаций при длительном выдерживании его под нагрузкой. Высокопрочный гипс применяют для изготовления гипсовых и гипсобетонных изделий, блоков и плит.

Ангидритовый цемент получают обжигом двухводного гипса при $600\text{—}700^\circ \text{C}$ и последующим помолом совместно с добавками — катализаторами в виде извести, смеси бисульфата и сульфата натрия, обожженного доломита, основного гранулированного шлака и др.

Ангидритовый цемент можно приготовить и путем помола природного ангидрита с названными добавками. Ангидритовый цемент относится к воздушным вяжущим материалам, однако оптимальный режим для него: сначала влажная среда, а затем сухая. Марки ангидритового цемента по прочности при сжатии (раствор 1:3 с нормальным песком) бывают: 50, 100, 150 и 200. Ангидритовые цементы применяют для приготовления строительных растворов и бетонов, для производства теплоизоляционных материалов, изготовления строительных деталей, искусственного мрамора и других декоративных изделий.

§ 27. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Магнезиальные вяжущие материалы получают при обжиге магнезита (каустический магнезит) или доломита (каустический доломит).

Каустический магнезит изготавливают обжигом горной породы — магнезита (MgCO_3) в шахтных или вращающихся печах при $650\text{—}850^\circ \text{C}$, при этом углекислый газ удаляется, а магнезию (MgO) размалывают в тонкий порошок и упаковывают в стальные бочки массой 150 кг, так как при хранении на воздухе каустический магнезит быстро теряет активность. Каустический магнезит затворяют на растворе хлористого магния ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) или сернокисло-

го магнезия ($MgSO_4$). Магнезиальные вяжущие на растворе сернокислого магнезия менее прочны.

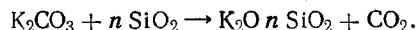
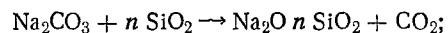
Затворенный каустический магнезит на воздухе твердеет сравнительно быстро (начало схватывания не ранее 20 мин, конец схватывания не позднее 6 ч).

Предел прочности при сжатии образцов-кубиков, состоящих из трех частей магнезита и одной части сосновых опилок размером 2—3 мм из жесткотрамбованного раствора, в 28-дневном возрасте равен 400, 500, 600 кгс/см².

Каустический доломит изготавливают обжигом горной породы — доломита $CaMg(CO_3)_2$ по той же технологии, что и магнезит. При температуре до 900°С происходит диссоциация: $MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$ а $CaCO_3$ остается неразложившимся в виде балласта. После охлаждения продукт обжига размалывают и упаковывают в стальные бочки. Каустический доломит обладает меньшей активностью по сравнению с каустическим магнезитом. Каустический магнезит и каустический доломит обладают способностью прочно связываться с древесными стружками и опилками. На этом основано изготовление *кислолита* и *фибролита*. Магнезиальные вяжущие материалы применяют также для приготовления штукатурных растворов, изготовления строительных деталей, пенобетона и др.

§ 28. РАСТВОРИМОЕ СТЕКЛО

Растворимое стекло представляет собой силикат натрия или калия, который получают в результате сплавления в стекловарных печах при 1300—1400°С обычно чистого кварцевого песка с содой, поташом или сульфатом натрия, в результате чего получается расплав по реакции:



При сплавлении с сульфатом натрия вводят катализатор — угольный порошок $Na_2SO_4 + n SiO_2 + C \rightarrow Na_2O n SiO_2 + SO_2 + CO$. Полученный расплав выпускают на металлические листы или в разборные вагонетки. При быстром охлаждении стеклянная масса распадается на куски — *силикат-глыбы*, которые представляют собой стекловатые, полупрозрачные, слабоокрашенные (в зависимости от примесей) куски с острыми ребрами, практически нерастворимые в воде. Только в тонкоизмельченном состоянии силикат-глыба при затворении водой может медленно переходить в коллоидный раствор.

Растворимое стекло применяют в строительстве в растворенном состоянии, поэтому его часто называют *жидким стеклом*. Для перевода в жидкое состояние силикат-глыбу дробят, загружают в автоклав, куда подают пар, создавая давление 5—6 атм, при этом силикат-глыба переходит в коллоидный раствор — *силикат-раствор*. Другой способ получения непосредственно силикат-раствора заключается в том, что в автоклав загружают диатомит или трепел (луч-

ше шифтоф — вещество, состоящее в основном из аморфного кремнезема) и едкий натр, где под давлением пара 6 кгс/см² получается непосредственно коллоидный раствор жидкого стекла.

Свойства растворимого стекла определяются его модулем, т. е. отношением количества кремнезема к окиси натрия (или калия) $M = \frac{SiO_2}{K_2O}$. Чем выше модуль, тем труднее растворяется стекло,

однако тем неустойчивее раствор. Различают высокомодульное стекло с $M=3,5—3,9$; среднемодульное с $M=3,0—3,5$ и низко-модульное с $M=2,0—2,8$. Раствор стекла обладает вяжущим свойством.

Силикат-раствор как коллоидная система легко коагулирует при воздействии слабых кислот и солей, а также при попадании в него тонких порошкообразных веществ, при этом из раствора выделяется хлопьевидный мучнистый осадок. При длительном хранении даже в закрытой таре происходит (в особенности у высокомодульных растворов) частичное выпадение аморфного кремнезема, при этом значение модуля постепенно снижается. Требования к жидкому стеклу приведены в табл. 26.

Растворимое стекло применяют разной вязкости. Разжижают его мягкой водой, так как жесткая вода коагулирует раствор. При твердении на воздухе раствор образует клеящую плотную пленку, которая со временем может при взаимодействии с водой и углекислотой воздуха разрушиться. Для придания растворимому стеклу водоустойчивости в него добавляют кремнийфтористый натрий или другие вещества.

Растворимое стекло применяют для изготовления кислотоупорных растворов и бетонов, приготовления жароупорных и огнеупорных бетонов, предохранения поверхности камня от проникания воды и коррозии, обработки поверхности бетона с целью придания ему большей плотности, приготовления огнезащитных силикатных обмазок, укрепления плавучих песков и др.

Таблица 26

Показатели	Вид жидкого стекла		
	Содовое	Содово-сульфатное	Сульфатное
Плотность	1,50—1,55	1,48—1,50	1,48—1,50
Модуль стекла	2,60—3,00	2,56—3,00	2,56—3,00
Химический состав, %:			
кремнезема	32,0—34,5	28—32	28—32
окиси натрия	11,0—13,0	10—12	10—12
окиси кальция (CaO), не более	0,20	0,30	0,35
серного ангидрида, не более	0,18	1,00	1,50
окиси железа с окисью алюминия, не более	0,25	0,40	0,50
воды, не более	57	60	60

При работе с растворимым стеклом необходимо пользоваться резиновыми перчатками, фартуком и защитными очками. Последние особо важно при дроблении кусков силикат-глыбы.

Силикат-глыба может храниться на воздухе при условии предохранения ее от загрязнения. Силикат-раствор хранится в плотной, хорошо закупоренной таре (бочки, стеклянные баллоны); летом его необходимо защищать от нагрева солнечными лучами, а зимой — от замерзания (температура замерзания в зависимости от плотности — 3—5°С).

При использовании растворимого стекла необходимо предварительно осторожно отделить мучнистый осадок, который накапливается на дне тары.

§ 29. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Гидравлическая известь — продукт умеренного обжига мергелистых известняков, содержащих от 8 до 20% глинистого вещества.

Мергелистые известняки, обожженные в шахтных и других печах при 900—1000°С, после охлаждения лучше размалывать до состояния тонкого порошка и в таком виде отправлять к месту работ. При гашении обычным способом (например, в гидрататорах) не вся обожженная известь гасится, так как в ней в процессе обжига образуется не только СаО, но и некоторое количество силикатов, алюминатов и ферритов кальция (вследствие разложения глинистого вещества). Эти соединения не гасятся и только в тонкоразмолотом состоянии обладают способностью схватываться и твердеть во влажной среде (см. подробнее портландцемент).

В зависимости от химического состава исходного известняка, а также способа изготовления извести (гашение или размол) получают известь слабогидравлическую (при малом содержании глинистого вещества и гашении продуктов обжига) и сильногидравлическую (при большем содержании глинистого вещества и помоле продуктов обжига).

Полученная в результате гашения или размола порошкообразная гидравлическая известь при затворении водой образует известковое тесто, которое, начав твердеть на воздухе, продолжает твердеть и во влажной среде. Слабогидравлическая известь лучше гасится водой, но обладает меньшей гидравлическостью и прочностью по сравнению с сильногидравлической известью.

Гидравлическая известь представляет собой порошок серого цвета, по тонкости зерен грубее, чем воздушная известь; плотность ее 2,5—3,0; объемная масса 850—1100 кг/м³ в уплотненном и 500—800 кг/м³ в рыхлом состоянии. Гидравлическая известь должна обладать равномерностью изменения объема при твердении. Строительные растворы, приготовленные на слабогидравлической извести, выдерживают 21 день в сухой среде, а в последующие семь дней — во влажной; растворы же на сильногидравлической извести выдерживают соответственно 7 и 21 день. Выдержанные таким образом строительные растворы на гидравлической извести и нормальном песке (1:3) обладают прочностью 6—10 кгс/см² на слабогидравлической и 25—50 кгс/см² на сильногидравлической извести.

Гидравлическую известь применяют для приготовления кладочных растворов в сухой и влажной среде, как вяжущее для бутовой кладки, а сильногидравлическую известь — для бетонов низких марок.

Помол гидравлической извести осуществляется на заводах. Хранить ее на складах можно не более 30 суток.

Романцемент — продукт тонкого помола обожженных (не до спекания) известняковых или магнезиальных мергелей, содержащих более 20% глинистого вещества. При помоле желательнее вводить в смесь до 15% активных (гидравлических) добавок и до 5% природного двухводного гипса.

Исходное сырье обжигают в шахтных или вращающихся печах при температуре 900—1100°С (в зависимости от химического состава известняков). Романцемент состоит из 2СаО·SiO₂; СаО·Al₂O₃; 5СаО·3Al₂O₃; 2СаО·Fe₂O₃; MgO и некоего количества СаО.

Романцемент желтоватый, коричневый или красновато-бурый порошок с плотностью 2,6—3,0 и объемной массой в рыхлом состоянии 800—1000 кг/м³. По свойствам он приближается к сильногидравлической извести. Начало схватывания у затворенного водой романцемента должно наступать не ранее 15 мин, а конец не позднее 24 ч. Цемент должен обладать равномерностью изменения объема при твердении. Образцы раствора цемента с нормальным песком (1:3) через семь суток твердения во влажной среде и 21 сутки в воде обладают пределом прочности при сжатии 50—100 кгс/см².

Романцемент применяют для приготовления штукатурных и кладочных строительных растворов, а также бетонов низких марок. Первые три — пять суток свежее уложенный бетон необходимо защищать от действия воды.

§ 30. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Портландцемент представляет собой гидравлический вяжущий материал, получаемый в результате тонкого помола цементного клинкера, активных добавок (не более 15%) и природного гипса (не более 3% в пересчете на SO₃).

Цементный клинкер получают путем обжига до спекания природных мергелей определенного химического состава или искусственных смесей известняка с глиной (или доменными шлаками), подобранных в соответствии с требуемым химическим составом. Портландцемент обладает способностью твердеть в сухой и влажной среде, однако при твердении во влажной среде прочность его выше.

Природные мергели в ряде случаев не обладают необходимым химическим составом, поэтому до обжига в исходное сырье (или в искусственно составленную шихту) вводят добавки других горных пород (например, кварцевый песок, глинистые сланцы и др.) или отходы промышленности (например, доменные шлаки, колчедановые огарки) с тем, чтобы полученный в последующем клинкер имел следующий химический состав: СаО—63—67%, Al₂O₃—4—7%; SiO₂—21—24%, Fe₂O₃—2—4%, MgO, SO₃ и другие — 1,5—3%.

Технология изготовления цемента включает подготовку сырья, обжиг, выдерживание полученного клинкера на складе, совместный помол цементного клинкера с добавками, силосование цемента и его упаковку.

Подготовку сырья в зависимости от его состава и состояния ведут сухим или мокрым способом. В том случае, если исходное сырье — мергель — имеет необходимый химический состав, его дробят до определенной крупности и затем подвергают обжигу. Если сырьевую массу составляют из двух или нескольких компонентов, которые могут быть тонкоразмолоты, их измельчают, тщательно перемешивают в необходимом соотношении и из полученной таким образом однородной смеси на механических прессах формируют сухим способом брикеты, которые и поступают на обжиг в шахтные печи. Если обжигают во вращающихся печах, тонкоразмолотую смесь слегка увлажняют и загружают в печь для дальнейшего обжига.

Мокрый способ подготовки сырья (рис. 64) применяют в том случае, когда в качестве сырья используют влажные и мягкие горные породы, содержащие включения грубых примесей (конкреции, валунчики и пр.). В этом случае сырьевые материалы загружают

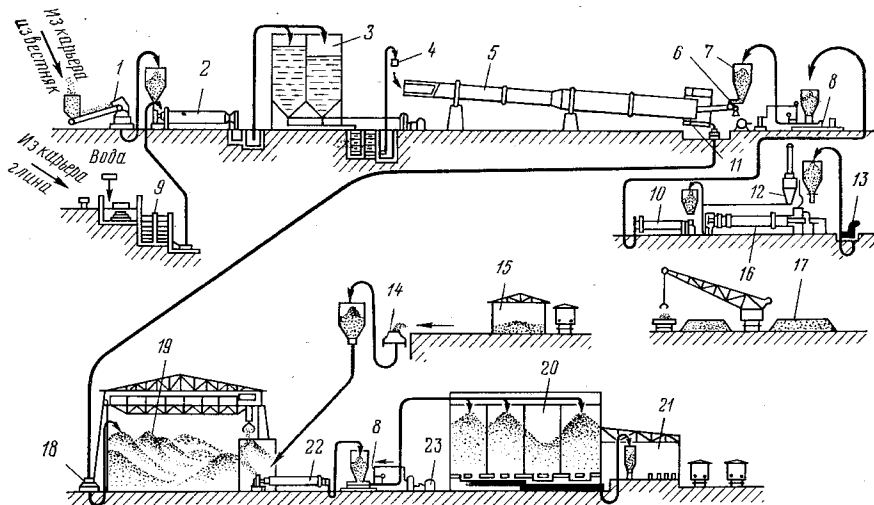


Рис. 64. Схема производства портландцемента мокрым способом:

1 — дробилка; 2 — сырьевая мельница; 3 — шламбаейн; 4 — шлам; 5 — вращающаяся печь; 6 — компрессор; 7 — угольный порошок; 8 — пневмовинтовой насос; 9 — глиноболтушка; 10 — угольная мельница; 11 — холодильник; 12 — циклон; 13 — дробилка для угля; 14 — дробилка для гипса; 15 — склад гипса; 16 — сушильный барабан; 17 — склад угля; 18 — клинкерная дробилка; 19 — склад клинкера; 20 — силосы для цемента; 21 — упаковка; 22 — цементная мельница; 23 — компрессор

в необходимом соотношении в аппарат-болтушку (рис. 65), в которой происходит измельчение и перемешивание смеси. В болтушке смесь перемешивается и освобождается от механических примесей. Из болтушки хорошо перемешанная вязкая грубая суспензия (шлам) поступает в трубную мельницу, а затем уже тонкоразмолотая однородная смесь поступает в шламбаейны для корректирования химического состава. В дальнейшем, пропуская шлам через фильтр-пресс, из него удаляют избыточное количество воды. Во вращающиеся печи смесь загружают в виде шлама (или увлажненного порошка).

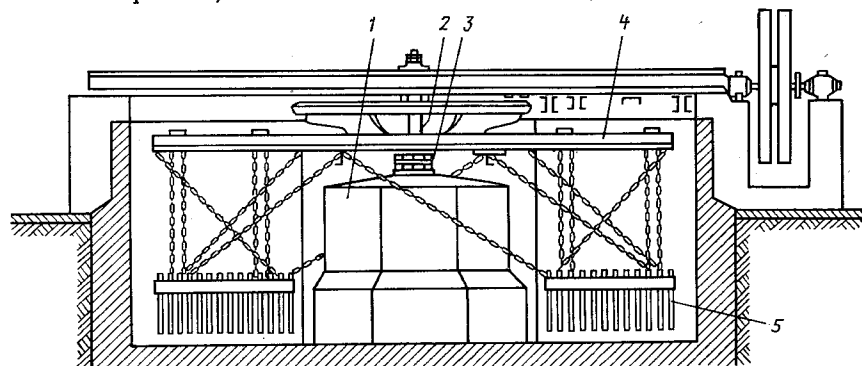


Рис. 65. Механизм (болтушка) для измельчения и перемешивания смеси:

1 — фундамент; 2 — вал; 3 — подшипник; 4 — крестовина; 5 — борона

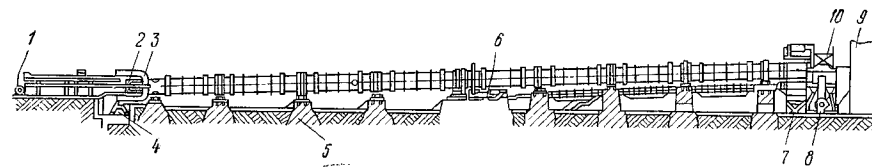


Рис. 66. Вращающаяся печь для обжига:

1 — дутьевой вентилятор; 2 — форсунка; 3 — рекуператоры для охлаждения клинкера; 4 — транспортеры для клинкера; 5 — опора; 6 — привод; 7 — холодильная камера; 8 — дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — питатель шлама

На современных цементных заводах установлены вращающиеся печи (рис. 66), представляющие собой цилиндр диаметром 2,0—4,5 м, длиной до 180 м из толстой листовой стали, изнутри выложенный огнеупорной футеровкой. Цилиндрическая печь устанавливается наклонно (под углом 2—5°) на нескольких бандажах (до девяти) на роликах. Во вращательное движение печь приводится при помощи венцовой шестерни со скоростью 1—2 об/мин. Топливо в виде горящего факела подается снизу и сгорает в передней части печи; топочные газы продвигаются вдоль всего барабана против движения шихты. Отдельные секции барабана печи, в которых осуществляется замедленное передвижение обжигаемого материала (зона спекания), устраивают большего диаметра. Сырьевую смесь загружают с верхнего конца печи. Для охлаждения корпуса печи в зоне спекания имеется кожух для охлаждения водой.

Обожженный клинкер поступает в холодильник, который может быть в виде вращающегося цилиндра, наклонно установленного бандажами на роликах. Диаметр и длина холодильника значительно меньше, чем печи. В современных печах устраивают рекуператорные холодильники (рис. 67), представляющие собой несколько цилиндрических коротких барабанов, укрепленных на нижнем конце печи и вращающихся вместе с печью. Холодный воздух, подаваемый через холодильники, охлаждает клинкер и в подогретом состоянии поступает в печь.

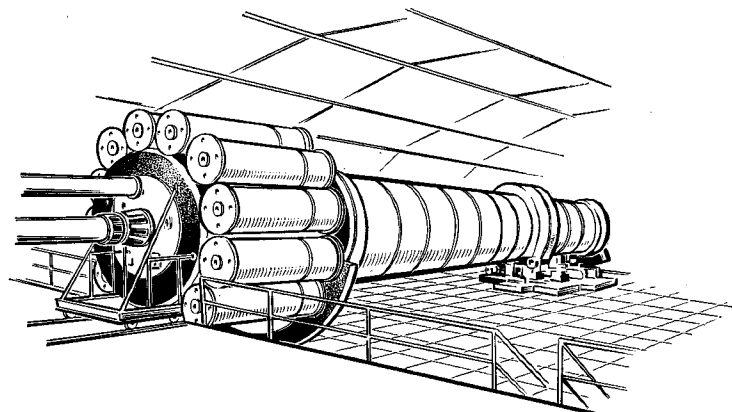


Рис. 67. Вращающаяся печь с рекуператорами

Вращающиеся печи по сравнению с шахтными экономичнее и дают более однородный, равномерно обожженный клинкер в виде зернистого полуфабриката. На новых цементных заводах установлены вращающиеся печи диаметром 5 м и длиной 185 м с колосниковыми холодильниками. Производительность таких печей достигает до 75 т клинкера в 1 ч.

Процессы, происходящие при обжиге. Сырьевая смесь вначале в зоне подсушивания постепенно нагревается до 150°С, утрачивая при этом свободную и гигроскопическую воду. В дальнейшем по мере продвижения в зоне подогрева при 500—750°С выгорают органические соединения и происходит выделение химически связанной воды (дегидратация) из глинистой составляющей, основную часть которой составляет каолинит $2\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$. При повышении температуры до 900—1000°С происходит диссоциация карбонатов с выделением углекислого газа, который удаляется с продуктами горения.

Образование цементного клинкера происходит в зоне спекания в интервале температур 1100—1500°С в результате взаимодействия с СаО свободных окислов и получения соединений силикатов, алюминатов, ферритов кальция с образованием жидкой фазы до 15—30% и главных соединений в такой последовательности: 2CaOSiO_2 (двухкальциевый силикат C_2S), $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (трехкальциевый алюминат C_3A), $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (четырекальциевый алюмоферрит C_4AF) и 3CaOSiO_2 (трехкальциевый силикат C_3S). В конечном продукте может содержаться небольшое количество (до 1,5%) избыточной свободной СаО и MgO.

Химический состав цементного клинкера принято характеризовать модулями (содержание окислов дается в процентах), которые для обычного портландцемента имеют значения:

гидравлический или основной модуль

$$M = \frac{\text{СаО}_{\text{общ}} - \text{СаО}_{\text{своб}}}{(\text{SiO}_{2\text{общ}} - \text{SiO}_{2\text{своб}}) + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,9 - 2,4;$$

силикатный или кремнеземистый модуль

$$n = \frac{\text{SiO}_{2\text{общ}} - \text{SiO}_{2\text{своб}}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,7 - 3,5;$$

глиноземистый или алюминатный модуль

$$P = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,0 - 3,0;$$

коэффициент насыщения кремнезема известью (предложен В. А. Киндом и В. Н. Юнгом):

$$\text{КН} = \frac{(\text{СаО}_{\text{общ}} - \text{СаО}_{\text{своб}}) - (1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ SO}_3)}{2,8 (\text{SiO}_{2\text{общ}} - \text{SiO}_{2\text{своб}})}.$$

Этот коэффициент представляет собой отношение количества извести, оставшейся после образования $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$

Fe_2O_3 и CaSO_4 , к тому количеству извести, которое необходимо для полного насыщения кремнезема до образования 3CaOSiO_2 .

Приведенные химические соединения в цементном клинкере образуют кристаллические минералы, которые называют алитом, белитом, целитом и др.

Алит состоит преимущественно из трехкальциевого силиката C_3S и небольшого количества трехкальциевого алюмината C_3A . При затворении водой он быстро твердеет с большим выделением тепла.

Белит содержит в основном β -форму 2CaOSiO_2 с примесью $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$. Вначале затворенный водой белит твердеет медленно и только на 14—28-е сутки более заметно. При твердении он выделяет тепла почти в 2 раза меньше, чем алит.

Целит имеет темно-коричневый цвет и, образуясь из затвердевшей жидкой фазы, обладает разнообразным составом и чаще состоит из $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ с примесями $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, 2CaOSiO_2 и др. Он твердеет медленнее, чем C_3A , но быстрее, чем силикаты кальция с малым экзотермическим эффектом (табл. 27).

В портландцементе содержание клинкерных минералов бывает: трехкальциевого силиката (C_3S) 37—60%, двухкальциевого силиката (C_2S) 15—37%, трехкальциевого алюмината (C_3A) 7—15% и четырехкальциевого алюмоферрита (C_4AF) 10—18%.

Таблица 27

Клинкерные минералы	Длительность гидратации, сут				
	3	7	28	90	180
	Теплота гидратации клинкерных минералов, кал/г (по В. А. Кинду, С. Д. Окорокову и С. Л. Вольфсон)				
$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	97	110	116	124	135
$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	15	25	40	47	55
$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	141	158	209	222	245
$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	42	60	90	99	—

Свободной извести не должно быть более 0,5%, так как она, находясь в пережженном состоянии, может вызвать в последующем растрескивание затвердевшего цементного камня.

Повышенное содержание названных минералов изменяет свойства цемента; в этом случае клинкеру дают дополнительное название. Так, при большем содержании C_3S он называется алитовый, C_2S — белитовый, C_3A — алюминатный, C_4AF — алюмоферритный и пр. Если клинкер содержит повышенное количество двух минералов, его соответственно называют алюминатно-алитовый, алюминатно-белитовый и др.

Обожженный клинкер после выгрузки из печи охлаждают и выдерживают на складах 10—15 сут. В процессе выдерживания в клинкере гасится пережженная окись кальция и окись магния (которые могут быть в небольшом количестве), снижается твердость

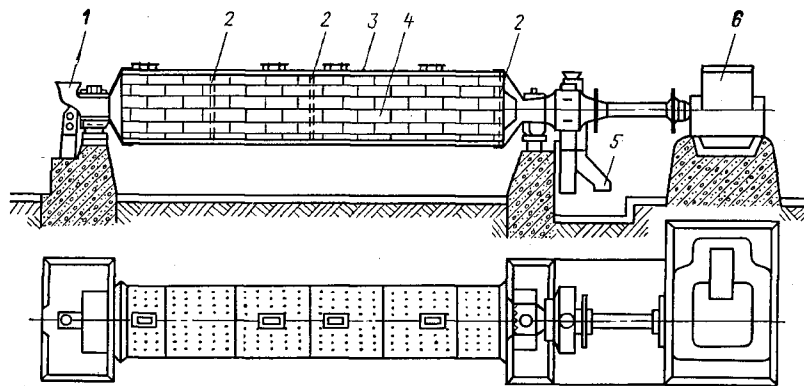


Рис. 68. Многокамерная мельница для помола клинкера:

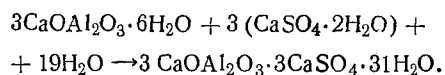
1 — загрузочное устройство; 2 — перегородка с решетками; 3 — стальной цилиндр; 4 — стальные плитки; 5 — выгрузочное устройство; 6 — двухступенчатый редуктор

клинкера, что облегчает дальнейший его помол, и замедляется схватывание цемента.

Помол клинкера. Обожженный клинкер после хранения на складах поступает для размол в многокамерные трубные мельницы (рис. 68). Если клинкер обожжен в шахтных печах, его предварительно дробят. В процессе помола к клинкеру добавляют 1—3% природного гипса (гипсовый камень) и до 15% активных (гидравлических) или до 10% инертных добавок.

Введение активных добавок, которые содержат значительное количество активного кремнезема и глинозема, имеет целью придать большую водостойкость затвердевшему цементу за счет связывания образующейся при твердении свободной $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Роль добавки гипса как ингибитора заключается в том, чтобы замедлить реакцию схватывания цементного теста в результате образования гидросульфатоалюмината кальция по реакции



Добавка гипса замедляет процесс коагуляции, а следовательно, и схватывания цемента. Если

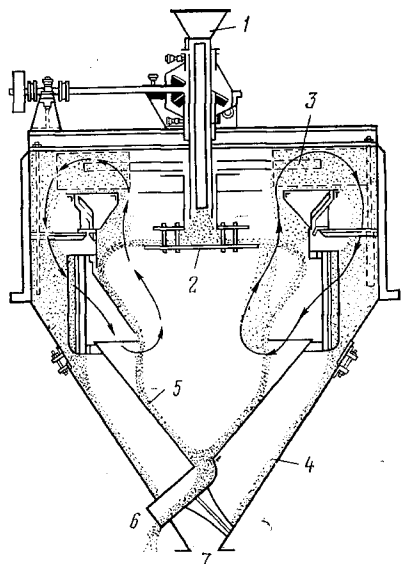


Рис. 69. Сепаратор:

1 — воронка; 2 — питательная тарелка; 3 — вентилятор; 4 — наружный кожух; 5 — внутренний кожух; 6 — выход крупных частиц для дополнительного помола; 7 — готовый продукт

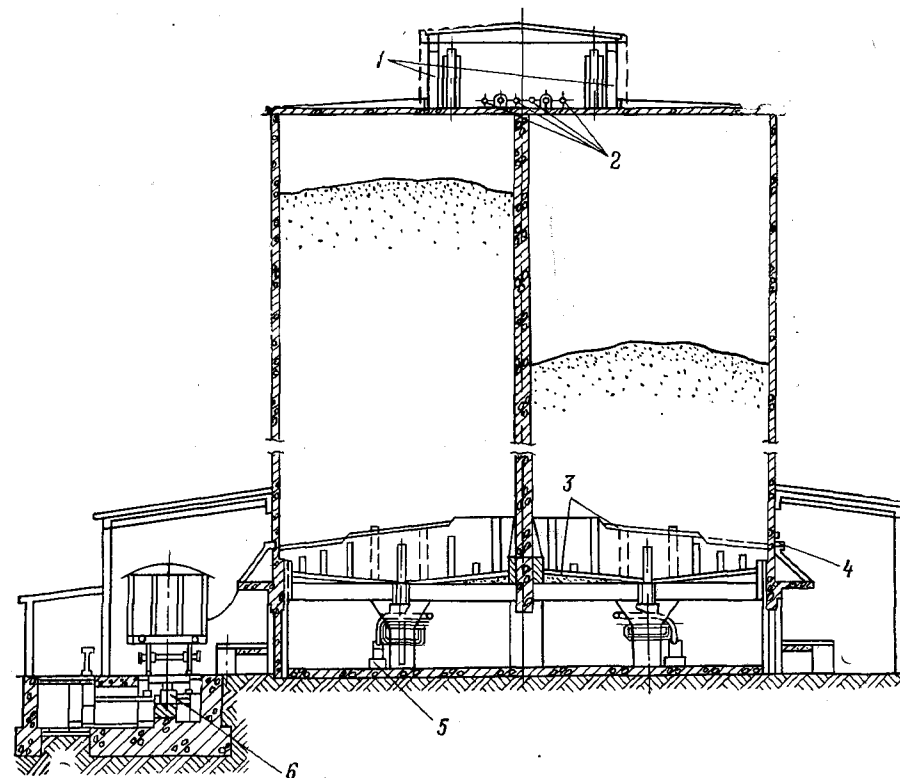


Рис. 70. Силосы для хранения цемента:

1 — фильтр для очистки воздуха; 2 — цементопроводы; 3 — пористые плитки; 4 — пневматический разгрузчик; 5 — пневматический желоб; 6 — вагонные весы

размолоть цементный клинкер без добавки гипса, получается так называемый цемент «быстрый», который при затворении с водой очень быстро схватывается.

Для охлаждения мельницы снабжены мощными вентиляционными установками, а их корпус с помощью специальных кожухов охлаждается водой. К мельницам присоединяют сепараторы (рис. 69) для отделения тонкого порошка цемента, при этом более крупные частицы возвращаются на дополнительный домол.

Силосование и упаковка цемента. После размол и сепарации цемент с температурой до 120°C закрытыми транспортерами или пневматическими насосами направляют в силосные башни (рис. 70), где его выдерживают две-три недели, пока он не приобретет нормальные сроки твердения и способность равномерно изменять объем при твердении.

Из силосов после выдерживания цемент поступает на автоматические отвешивающие и упаковывающие машины (рис. 71), на которых его упаковывают в многослойные бумажные мешки массой 50 или 70 кг. На мешках указывают название завода, наименова-

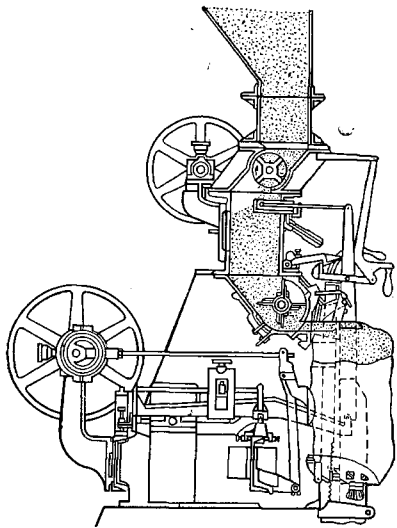


Рис. 71. Машина для упаковки цемента в мешки

ние цемента и его марку, номер партии, год и месяц его изготовления. Для крупных строительных объектов цемент можно транспортировать в приспособленных для этой цели железнодорожных вагонах, баржах и автомобилях-цементовозах с последующей разгрузкой насосами и другими средствами, предохраняющими цемент от распыления.

Свойства портландцемента. Плотность портландцемента зависит от минералогического состава и колеблется в пределах 3,0—3,2. Объемная масса портландцемента в рыхлом состоянии 900—1300 кг/м³ и в уплотненном состоянии от 1500 до 2000 кг/см³. В среднем для расчетов объемную массу принимают равной 1200 кг/м³.

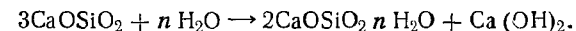
Тонкость помола обуславливает суммарную поверхность зерен цемента в единице массы. Чем тоньше помол, тем полнее будет использован цемент в образовании цементного клея. В соответствии с требованиями тонкость помола должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой № 008 (размер стороны ячейки 0,08 мм) проходило не менее 85% от веса пробы, при этом важно, чтобы его гранулометрический состав был неоднородный, что улучшает условия твердения.

Большое значение имеет удельная поверхность цементного порошка, которая обычно определяется специальными приборами (например, поверхностемером Гипроцемента), и для обычного портландцемента колеблется в пределах 2500—3000 см²/г, а для быстротвердеющего — 4000 см²/г и более.

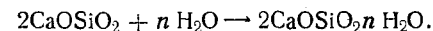
Схватывание и твердение цемента. При смешивании цемента с водой возникают сложные физико-химические процессы взаимодействия, в результате чего образуется пластичная масса, которая начинает уплотняться и густеть (этот период называют *началом схватывания*), а затем, утрачивая пластическую консистенцию, постепенно переходит в твердое тело (*конец схватывания*). Вначале в таком состоянии у цементного теста заметной прочности не наблюдается; лишь в благоприятных условиях температуры и влажности прочность в дальнейшем постепенно нарастает (происходит процесс твердения).

При взаимодействии цемента с водой возникают процессы гидратации (реакция, протекающая с присоединением воды) и гидролиза (реакция без распада вещества или с распадом его и образо-

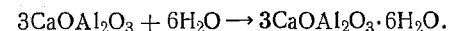
ванием новых соединений). Эти сложные процессы в общих чертах могут быть отнесены к следующим реакциям главных минералов. В процессе взаимодействия с водой трехкальцевого силиката происходит гидролитическая диссоциация по реакции



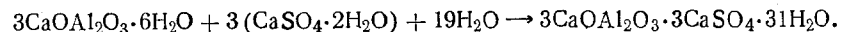
Двухкальцевый силикат при взаимодействии с ограниченным количеством воды гидратируется по следующему уравнению:



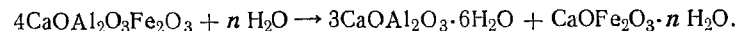
Трехкальцевый алюминат весьма быстро присоединяет воду:



Поскольку в цементной смеси имеется гипс, последний вступает в реакцию с гидротрехкальцевым алюминатом, образуя трудно-растворимое новообразование — гидросульфалюминат кальция — по следующему уравнению:



Наконец, четырехкальцевый алюмоферрит образует



Исследованию процессов твердения цемента были посвящены работы Ле-Шателье, который предложил кристаллизационную теорию твердения, и Михалиса, выдвинувшего коллоидную теорию.

А. А. Байков развил эти исследования и разработал более стройную теорию, которая кратко сводится к следующему. При затворении цемента вода сорбируется на поверхности зерен цемента и с момента соприкосновения с ним начинается процесс растворения. При этом водная среда быстро насыщается продуктами гидролиза и гидратации: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $2\text{CaOSiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и др. В дальнейшем происходит частичное растворение и дальнейшее выделение новообразований в коллоидном состоянии. Коллоидные образования отличаются различной растворимостью, вследствие чего одни из них (гидросиликат кальция) остаются в коллоидном состоянии, а другие (гидрат окиси кальция, гидроалюминат кальция) могут перекристаллизоваться.

Вслед за образованием коллоидных веществ (что соответствует периоду схватывания и уплотнения их за счет дальнейшего протекания процессов гидролиза и гидратации) наступает процесс кристаллизации (это соответствует началу твердения), что сопровождается нарастанием прочности системы.

Акад. П. А. Ребиндер и его сотрудники показали, что твердение цемента — это кинетический процесс, причем коллоидации предшествует адсорбционное и химическое диспергирование зерен цемента, приводящее к разрушению (пептизации) зерен цемента водой; при этом зерна цемента частично раскалываются, от них отделяются в основном частицы коллоидных размеров. Насыщение системы коллоидными частицами приводит к образованию *коагуляционной* структуры, в результате чего утрачивается подвижность цементного теста (период схватывания). Коагуляционная структура, возникающая в результате действия молекулярных сил сцепления коллоидных частиц, обладает малой прочностью и тиксотропными свойствами, т. е. она способна к обратимому восстановлению после механического ее разрушения.

Растворение зерен приводит к образованию метастабильного (неустойчивого) раствора с достаточно высокой степенью пересыщения. Из этого раствора выкристаллизовываются кристаллогидратные новообразования. Процесс образования новой фазы из раствора проходит через стадию зародышей кристаллов коллоидных размеров. Коагуляционная структура, уплотняясь постепенно, пере-

ходит за счет срастания кристалликов новообразований и их утолщения в кристаллизационную структуру (период твердения), которая, образуя сплошной каркас из сросшихся кристалликов, приобретает прочность и разрушается необратимо.

Скорость схватывания цемента зависит от минералогического состава, тонкости помола, количества воды для затворения, температуры и др. Так, повышенное содержание трехкальцевого алюмината, большая удельная поверхность, малое количество воды, повышенная температура среды ускоряют процессы схватывания. Скорость схватывания является существенной технологической характеристикой цемента. Для портландцемента начало схватывания должно наступать не ранее 45 мин, а конец не позднее 1½ ч от начала затворения. Обычно же начало схватывания у портландцемента наступает через 2—3 ч, а конец — через 5—8 ч. Как быстрое, так и очень медленное схватывание затрудняет и усложняет организацию производства строительных работ.

Процессы схватывания и твердения цемента сопровождаются выделением тепла (экзотермический эффект). Чем тоньше помол, чем больше содержится в цементе C_3A и C_3S , а также стекловатой фазы, чем меньше взято воды для затворения, тем больше выделяется тепла, тем интенсивнее протекает процесс твердения.

Структура цементного камня представляет сложное сочетание каркаса кристаллических сростков новообразований, цементного геля, находящегося в стадии кристаллизации, непрореагировавших частиц цементного клинкера, частиц активных (гидравлических) добавок, избыточной воды и воздуха. Пористость геля составляет около 30%; поры и капилляры имеются и в кристаллическом сростке. Поры цементного камня содержат воду и воздух.

С возрастом в цементном камне увеличивается содержание кристаллической фазы, соответственно уменьшается масса геля и снижается объем непрореагировавших зерен цементного клинкера. Чем тоньше помол клинкера, тем полнее используется клинкерное вещество, тем меньше содержание в цементном камне непрореагировавших зерен.

Вследствие того, что при затворении цемента до необходимой консистенции (пластичности) вводят воды в 2—3 раза больше, чем это требуется для процессов гидролиза и гидратации, большая часть воды в цементном камне остается в свободном состоянии, образуя большое количество капиллярных пор. Чем больше воды взято для затворения цемента, тем больше образуется капиллярных пор. Так, при увеличении водо-цементного отношения от 0,35 до 0,70 пористость увеличивается от 25 до 50%.

Структура цементного камня и прежде всего соотношение кристаллической и гелевой фаз обуславливает его физико-механические свойства — плотность, прочность, деформативность, устойчивость при увлажнении и высыхании.

Нормальная густота — условное количество воды, которое необходимо для достижения заданной пластичности. Обычно для портландцемента нормальная густота составляет 20—25%.

Равномерность изменения объема при твердении определяют путем испытания цементных лепешек стандартного размера кипячением их в парах воды, при этом они не должны обнаруживать усадочных деформаций.

Неравномерность изменения объема может быть обусловлена наличием в цементе окиси кальция, окиси магния и гипса. Цемент, неравномерно изменяющий объем при твердении, является не доброкачественным.

Водопотребность цемента. При затворении цемента вода нужна не только для протекания физико-химических процессов твердения, но и для придания пластичности строительному цементному раствору и бетону. Водопотребность определяется тем количеством воды, которое обеспечивает раствору или бетонной смеси заданную пластичность (подвижность). Для этой цели воду дозируют в значительно большем количестве, чем это необходимо для реакции твердения. Избыточная вода снижает прочность и увеличивает усадочные деформации при твердении цемента на воздухе.

Водопотребность портландцемента зависит от минералогического состава, тонкости помола, количества и вида добавок и др.

Набухание и усадка — способность цемента изменять объем в результате физико-химических процессов, протекающих при твердении и изменении влажности среды. Набухание цементного камня возникает в результате взаимодействия с водой, вследствие чего цементный гель увеличивается в объеме. Увеличение объема в возрасте 27 сут, по данным Лермита, у обычного портландцемента 0,023%, быстротвердеющего портландцемента 0,24%, шлакопортландцемента 0,016%, глиноземистого цемента 0,03%.

Цементный камень в воздушносухой среде дает усадку, причем величина усадки в несколько раз больше набухания. Усадка в основном обуславливается уменьшением объема геля цементного камня при его высыхании, при этом чем больше гелевых новообразований, тем больше усадка. Кроме того, усадка происходит вследствие отсоса свободной воды в зону гидратации, а также потерей пленочной воды кристаллическими новообразованиями.

Ползучесть — проявление непрерывных деформаций при воздействии длительно приложенной нагрузки, при снятии которой возникают остаточные деформации. Наибольший прирост деформаций происходит в первые три—шесть месяцев, а далее с возрастом деформации ползучести уменьшаются. Ползучесть определяют показателем меры ползучести — величиной относительной деформации, приходящейся на 1 кгс/см² длительно действующего напряжения.

Прочность портландцемента условно определяют показателем предела прочности при сжатии и изгибе (в кгс/см²). Этот показатель называют *активностью* или *маркой цемента*.

Предел прочности при изгибе определяют на балочках размером 40×40×160 мм, изготовленных из раствора пластичной консистенции состава: одна часть цемента и три части нормального песка¹

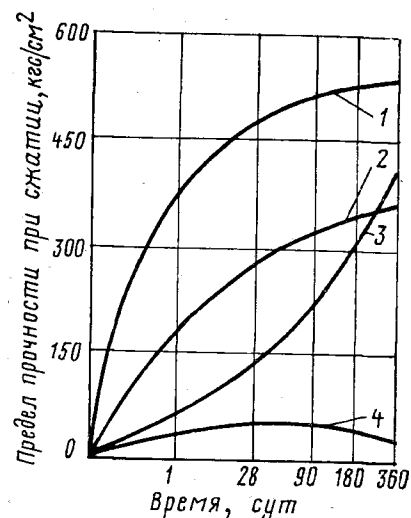


Рис. 72. Нарастание прочности минералов портландцементного клинкера: 1 — C₃S; 2 — C₂AF; 3 — C₂S; 4 — C₃A

(по массе) и выдержанных во влажной среде при температуре $20 \pm 3^\circ \text{C}$ 28 сут., водо-цементном отношении 0,4 и уплотнении на стандартной виброплощадке.

Предел прочности при сжатии определяют после испытания на изгиб на половинках балочки. Нарастание прочности происходит неравномерно: вначале на третьи сутки она достигает 50%, а на седьмые — до 70% от прочности на 28-е сутки (рис. 72). По показателю прочности устанавливают марку (или активность) цемента (табл. 28).

Коррозия цементного камня.
Затвердевший в элементах сооружений портландцемент под влиянием физико-химического воздей-

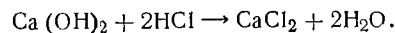
ствия окружающей среды может подвергаться коррозии (corrosio — разъедание, разрушение).

Таблица 28

Марка цемента	Предел прочности, кгс/см ²		Марка цемента	Предел прочности, кгс/см ²	
	при сжатии	при изгибе		при сжатии	при изгибе
300	300	45	500	500	60
400	400	55	600	600	65

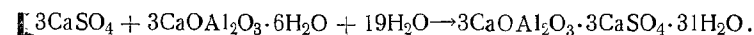
Бетон на портландцементе, находящийся в проточных (в особенности напорных) водах, подвергается разрушению вследствие растворения и вымывания свободной гидратной извести. Хотя растворимость Ca(OH)₂ невелика (1,32 г CaO на 1 л при 15°С), но при постоянном воздействии проточных вод количество растворенной и вымытой Ca(OH)₂ возрастает, что приводит к образованию микропористого строения цементного камня.

Минеральные и органические кислоты разрушают портландцемент. Так, например, растворы соляной кислоты при воздействии на цементный камень образуют легко растворимый хлористый кальций



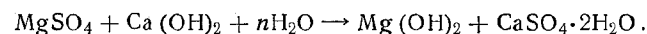
¹ Кварцевый песок Вольских карьеров отсеянный крупностью от 0,53 до 0,85 мм.

Особенно разрушительно действуют на цементный камень сернокислые соли (MgSO₄, CaSO₄, Na₂SO₄ и др.). Анион SO₃ при взаимодействии с Ca(OH)₂ образует CaSO₄·2H₂O, кристаллы которого по мере нарастания вызывают образование трещин и разрушение. При малых концентрациях сульфатов образуется гидросульфат алюмината кальция с присоединением большого количества воды:



При этом объем новообразования увеличивается в 2,5 раза. В результате этого, а затем под воздействием воды в теле цементного камня образуются трещины, из которых вытекает сметанообразное вещество.

Сернокислый магний, вступая во взаимодействие с Ca(OH)₂, образует гипс и гидроокись магния (не обладающую вяжущей способностью):



Свободная углекислота в водной среде в количестве более чем 15—20 мг/л также разрушающе действует на цементный камень:



Безвредны для цементного камня кремнекислые соли, соли кремнийфтористоводородной кислоты, соли угольной кислоты, а также растворы щелочей. Не опасны нефть, керосин, бензин, нефтяные масла, если они не содержат нафтеновых кислот или остатков серной кислоты после очистки нефтепродуктов.

Мерами против коррозии являются: применение более устойчивых цементов (пуццолановых, сульфатостойких и глиноземистых), создание плотных строительных растворов и бетонов, защита поверхности водонепроницаемыми пленками (битумными, полимерными веществ и др.), облицовка поверхности устойчивыми материалами.

Применение и хранение портландцемента. Портландцемент применяют в качестве вяжущего при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций и изделий для наземных и подводных сооружений (за исключением агрессивной среды), что устройства бетонных дорожных и аэродромных покрытий, приготовления строительных растворов, укрепления грунтов и др.

Цемент хранят в силосах или в сараях с обшивкой стен и крыши, непроницаемой для воды. Пол сарая должен быть плотным и приподнятым над поверхностью земли не менее чем на 30 см. При длительном хранении активность цемента снижается, при этом интенсивность снижения активности находится в зависимости от минералогического состава, тонкости помола и др. Наименее устойчивы тонкомолотые цементы, содержащие повышенное количество C₃A и C₃S. Влажный воздух, соприкасающийся с цементом, значительно снижает активность цемента. В среднем активность портландцемента снижается через три месяца на 10—20%, через шесть месяцев на 15—30% и через 12 месяцев на 25—40%.

Применение портландцемента в инженерных конструкциях, работающих в различных природных условиях, вызвало необходимость производства цементов, которые обладали бы требуемыми для этих целей свойствами. Достигнуть этого можно путем изменения минералогического состава цемента, тонкости помола, введения различных добавок и пр.

Быстротвердеющий портландцемент представляет собой минеральное вяжущее, которое содержит C_3S около 50—60%, C_3A — 8—14%, а сумма C_3S и C_3A — не менее 60—65%. При повышенном содержании C_3A увеличивают и добавку гипса. Тонкости помола этого цемента увеличивают до удельной поверхности порошка, равной 3500—4000 $см^2/г$ (вместо обычной 2500—3000 $см^2/г$). Содержание активных минеральных добавок в нем не превышает 10%. Быстротвердеющий портландцемент обладает более интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения, при этом в однодневном возрасте прочность его должна быть не менее 200 $кгс/см^2$, а в трехдневном не менее 300 $кгс/см^2$.

Цель тонкого помола цемента заключается в том, чтобы увеличить поверхность для создания условий более быстрого протекания сложных физико-химических процессов гидролиза и гидратации, а следовательно, и более полного использования вещества зерен цемента. Установлено, что при обычном помоле в реакцию гидратации и гидролиза вступает около 48% зерен цемента, остальная же часть остается в виде балласта. Тончайшие частицы цемента размером около 10 мк уже на третьи сутки обеспечивают прочность цемента примерно в 7 раз большую, чем частицы размером около 60 мк.

Для тонкого помола используют шаровые многокамерные мельницы с более продолжительным временем помола, а для мокрого помола — шаровые мельницы и дополнительный домол в вибрационных мельницах (рис. 73)*. Лучшие результаты мокрого домола получают при введении в смесь гипса и хлористого кальция.

При увеличении удельной поверхности зерен цемента с 2100 до 4000 $см^2/г$ предел прочности его в возрасте 28 дней возрастает с 400 до 750 $кгс/см^2$, причем наиболее быстрое нарастание прочности цементного камня от тонкости помола иллюстрируется данными А. Д. Ершова, приведенными в табл. 29.

Как видно, увеличение удельной поверхности дает положительный эффект только до определенной тонкости помола. При более тонком помоле (сверх оптимума) необходимо увеличивать количество воды для затворения, а весьма быстрое протекание процессов твердения увеличивает тепловыделение, что связано с возможностью возникновения усадочных деформаций и трещинообра-

* Корпус вибромельницы имеет приспособление для водяного охлаждения. Стальной цилиндр мельницы заполняют стальными шарами и роликами разного размера (8—18 мм) на 80% объема. Производительность мельницы зависит от крупности загружаемого материала, которая обычно принимается не более 2 мм. Так, производительность вибромельницы М-400 составляет 1,5—2,0 т/ч.

Удельная поверхность, $см^2/г$	Предел прочности при сжатии, $кгс/см^2$, в возрасте						
	1 день	3 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	6 мес.	12 мес.
1880	84	260	360	530	520	520	690
2100	145	280	445	470	600	600	720
3000	147	340	480	570	660	660	720
4000	215	460	535	590	540	610	690
5100	280	400	480	540	570	600	740

зований, а это, в свою очередь, приводит к снижению прочности (например, в массивных элементах конструкции). Цементы большой тонкости помола, как указывалось, быстрее снижают активность при хранении.

Пластифицированный портландцемент изготавливают совместным помолом клинкера портландцемента, активных добавок, гипса и поверхностно-активных пластифицирующих добавок. В качестве пластифицирующей добавки обычно применяют сульфитно-спиртовую бражку (ссб) в количестве 0,15—0,25% (в пересчете на сухое вещество барды) к цементу. Введение пластифицирующих добавок придает цементному тесту большую подвижность, что позволяет снизить количество воды затворения, а это, в свою очередь, позволяет несколько уменьшить расход цемента в строительном растворе и бетоне. В то же время пластифицирующие добавки несколько увеличивают водонепроницаемость и морозостойкость цементного камня.

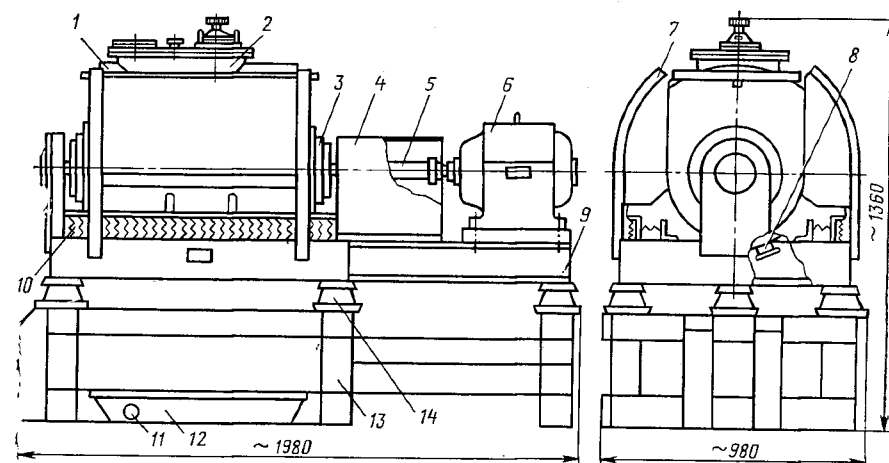


Рис. 73. Вибромельница:

1 — корпус; 2 — загрузочный люк; 3 — вибратор; 4 — ограждение; 5 — упругая соединительная муфта; 6 — электродвигатель; 7 — охлаждающее устройство; 8 — разгрузочный люк; 9 — рама; 10 — пружина; 11 — сливное устройство; 12 — корыто; 13 — подставка; 14 — амортизаторы

Роль пластифицирующих добавок, по акад. П. А. Ребиндеру, сводится к следующему. Кальциевые соли сульфогликолиновых кислот (сгб), сорбируясь на поверхности зерен цемента, образуют коллоидные гидрофильные пленки. Эти пленки способствуют более полному смачиванию водой и препятствуют агрегированию зерен цемента. При затворении водой пленки сгб обеспечивают повышение пластичности цементного теста. Указанная способность сгб проявляется эффективнее в смесях цементов с песком и щебнем.

Пластифицированные цементы в первое время твердеют несколько медленнее, чем обычные, однако в дальнейшем они приобретают ту же прочность. В первые сроки твердения они более чувствительны к просыханию, поэтому нуждаются в тщательном соблюдении влажного режима. Пластифицированные портландцементы выпускают марок 300, 400, 500; они более экономичны, так как обуславливают меньший расход вяжущего и применяются для тех же целей, что и обычные портландцементы, особенно для элементов, подвергающихся попеременному увлажнению и просыханию, замораживанию и оттаиванию (например, бетон дорожных и аэродромных покрытий и гидротехнических сооружений).

Гидрофобный портландцемент изготавливают совместным помолом цементного клинкера, активных добавок, гипса и гидрофобных поверхностно-активных добавок (в количестве 0,15—0,30%). В качестве таких добавок применяют мылонафт, асидол¹, олеиновую кислоту и др. Эти вещества, сорбируясь на поверхности зерен цемента, создают гидрофобную сетку, которая понижает способность цемента взаимодействовать с влагой воздуха. В результате этого гидрофобный цемент не снижает активность и не комкуется при хранении, он менее чувствителен к влажной воздушной среде.

При затворении гидрофобного цемента водой поверхностно-активные добавки вступают в реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуют микропену, в результате чего процесс нарастания прочности вначале протекает медленнее, а в дальнейшем так же, как и у обыкновенного цемента. Цементное тесто при этом получается более пластичным, а цементный камень более водо- и морозостойким.

Сульфатостойкий портландцемент — продукт тонкого помола клинкера, имеющего пониженное содержание C_3A (не более 5%), C_3S (не более 50%) и с величиной глиноземистого модуля $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ не менее 0,6; допускается введение активных добавок до 10—15%. Сульфатостойкий портландцемент выпускают марки 400, 500 и 600. Его применяют для бетонных и железобетонных элементов сооружений, подвергающихся воздействию агрессивных (сульфатных) вод, а также попеременному увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию. Для элементов сооружения, работающих в

среде морских вод, предпочтительно применять сульфатостойкий пуццолановый портландцемент.

Дорожный портландцемент содержит C_3A не более 8% и гипса (в пересчете на SO_3) в пределах 1—3%. Этот цемент содержит не более 5% добавок микронаполнителей или 15% доменного гранулированного шлака. Дорожный портландцемент должен быть пластифицирован. Для повышения морозостойкости в цемент вводят воздухововлекающие добавки. Дорожный портландцемент выпускают марок 500, 600 и 700 и применяют для устройства дорожных и аэродромных бетонных покрытий.

Белый и цветной портландцемент изготавливают путем обжига и последующего помола чистых известняков, чистого кварцевого песка и каолина. Затем его подвергают отбеливанию путем трехминутного действия восстановительного пламени при 800—1000°С для перевода окиси железа в окись-закись железа. Цветные цементы получают помолом клинкера белого цемента со свето- и щелочностойкими пигментами (охра, окись хрома, железный сурик и др.). Белые и цветные (с минеральными пигментами) портландцементы используют для декоративных и отделочных работ.

§ 32. ПУЦЦОЛАНОВЫЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ

При твердении в портландцементе наряду с целым рядом гидратов образуется свободная гидратная известь, наличие которой снижает устойчивость цементного камня в проточных, напорных и слабоминерализованных водах. Исследованиями Н. Н. Лямина, С. А. Дружинина, А. Р. Шуляченко, А. А. Байкова, В. А. Кинда и других была доказана целесообразность введения в состав цемента активных добавок¹ для закрепления образующейся извести в результате гидролиза и гидратации трехкальциевого силиката.

Активными минеральными добавками называют вещества, содержащие активную (растворимую) форму кремнезема и глинозема. В тонкоразмолотом состоянии и замешанные водой в смеси с известью они приобретают гидравлические вяжущие свойства. Активные добавки придают портландцементу повышенную водостойкость.

Активные минеральные добавки известны с древних времен. Еще в древнем Риме для придания гидравлических свойств к воздушной извести добавляли толченый слабообожженный керамический бой, а позднее вулканический пепел, который добывали вблизи г. Пуццоли (откуда и возник термин пуццоланы, пуццолановые добавки).

Активные добавки по происхождению делят на природные и искусственные, а по химическому составу — на кислые ($M < 1$) и основные ($M > 1$), что определяется модулем

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}.$$

¹ Прежнее название «пуццолановые», а позже «гидравлические».

¹ Мылонафт и асидол получают при очистке нефтяных дистиллятов. Мылонафт — мазиобразное вещество из смеси натриевых мыл нафтенных кислот, воды, небольшого количества минеральных масел и минеральных кислот. Асидол содержит до 50% нафтенных кислот и до 50% неомыляемых соединений.

При смешении с гидратной известью часть кремнезема и глинозема добавки растворяется и связывается с известью, увеличиваясь в объеме.

Основные активные добавки в порошкообразном состоянии, будучи замешаны водой, обладают способностью охватываться и медленно твердеть. Кислые добавки самостоятельно твердеть не могут и приобретают это свойство только при внесении в них возбудителей (воздушной извести, гипса и др.).

Природные активные добавки могут быть осадочного и вулканического происхождения. К добавкам осадочного происхождения относятся: 1) *трепел* (или инфузорная земля) — легкая, мучнистая, беловатая, сильнопористая, богатая аморфным кремнеземом порода с объемной массой 0,5—0,9; 2) *диатомит* — легкая, весьма пористая, мучнистая порода белого или желтоватого цвета, содержащая аморфный кремнезем в количестве до 95%; 3) *опока* — относительно твердая, сильнопористая порода от светло-желтого до темно-серого цвета с содержанием аморфного кремнезема до 80%; объемная масса — около 1,0.

К добавкам вулканического происхождения относятся: 1) *вулканический пепел* — тонкораздробленная взрывами извержений лава; состоит из мелких зерен вулканического стекла и обломков других минералов с преобладающим размером зерен менее 0,15 мм; содержит SiO_2 около 70%, Al_2O_3 около 12%, CaO до 4—6%; 2) *вулканические туфы* — цементированные обломки камневидной лавы со значительной примесью вулканического пепла; вследствие быстрого охлаждения они содержат много вулканического стекла; 3) *вулканические трассы* — уплотненные и цементированные отложения рыхлого вулканического материала; 4) *пемзы* — остывшие газовые лавы в смеси с вулканическими пеплами, ноздревато-пористые стекловатые куски, содержащие значительное количество аморфного кремнезема.

Искусственные активные добавки представляют собой преимущественно отходы промышленности: доменные гранулированные шлаки, золы от сжигания бурых углей, торфа, горючих сланцев, горелые породы из терриконов угольных шахт, шифтоф — отходы заводов по производству алюминия, глинт — глины, обожженные при 650—800° С, цемянки — молотый бой керамических изделий (кирпич, черепица и др.).

Активность добавок определяют по поглощению извести из известкового раствора через 30 сут (мг CaO на 1 г добавки): высокоактивные — 200 мг, среднеактивные — 100 мг и низкоактивные — 50 мг. Добавки с активностью ниже 50 мг относят к инертным.

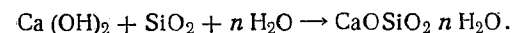
Пуццолановый портландцемент — гидравлический вяжущий материал, получаемый в результате совместного помола портландцементного клинкера повышенного качества с 20—50% активных добавок и природного гипса. Количество гипса должно быть таким, чтобы содержание SO_3 в цементе не превышало 3%. Количество активной добавки зависит от ее активности; например, трепел до-

бавляют в количестве 20—30%, а вулканические породы — пемзу, пепел, туфы, трассы — 25—40%. Реже пуццолановый портландцемент получают путем тщательного смешения предварительно тонкоразмолотых цементного клинкера, активной добавки и гипса, взятых в определенном соотношении.

Помол пуццоланового портландцемента должен быть возможно более тонким и не грубее обычного портландцемента. Эти цементы выпускают марок 200, 300 и 400. Цвет цемента светлый; плотность 2,7—2,9; объемная масса в рыхлом состоянии 800—1000 кг/м³, а в уплотненном — 1200—1600 кг/м³. Сроки схватывания примерно те же, что и у портландцемента, однако процесс твердения вначале (до 30 сут) протекает медленнее, а затем в условиях достаточной влажности и при температуре выше +10° С становится несколько интенсивнее.

Для получения теста нормальной густоты пуццолановые цементы требуют больше воды (30—40% против 20—25% для обыкновенного портландцемента), причем тесто обладает большей вязкостью, а бетонная смесь на этом цементе менее подвижна. Вследствие этого в бетонную смесь рекомендуется добавлять пластифицирующие добавки. При схватывании и твердении цемента выделяется меньше тепла, вследствие чего они менее пригодны для зимнего бетонирования. Пуццолановые цементы малоприспособлены для изготовления элементов сооружений, которые будут работать в сухой среде или в условиях переменного увлажнения и замораживания. Усадка и набухание при твердении на воздухе и в воде у них больше, чем у портландцемента.

Эти особенности пуццолановых цементов объясняются повышенным содержанием активных добавок, причем в зависимости от их качества указанные особенности проявляются в различной степени. При твердении образуются гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты и гидроокись кальция. Вследствие наличия активного кремнезема образующаяся гидратная известь, вступая в соединение с кремнеземом, медленно образует дополнительное количество гидросиликатов кальция, что приводит к снижению концентрации гидратной извести:



Вследствие того, что пуццолановые цементы содержат меньшее количество гидроалюмината кальция и гидратной извести, они обладают большей стойкостью по отношению к проточным и слабоминерализованным водам. Наряду с этим частицы активной добавки при взаимодействии с гидратной известью, образующейся при твердении цемента, во влажной среде набухают, что обуславливает уплотнение бетона. Это также способствует большей устойчивости бетонов на пуццолановых цементах, так как повышенная плотность препятствует проникновению воды в тело бетона.

Для повышения сульфатостойкости пуццоланового портландцемента его изготавливают из клинкера с пониженным содержанием

трехкальциевого алюмината (не более 8%). Такой цемент называют сульфатостойким пуццолановым портландцементом. Марки этого цемента 300 и 400.

Пуццолановый портландцемент применяют для подводных и подземных элементов сооружений, а также для элементов, работающих в слабоагрессивной среде. Пуццолановый цемент не рекомендуется хранить на складах длительное время, так как он утрачивает активность несколько быстрее, чем обычный портландцемент.

Трехкомпонентный цемент получают путем тонкого помола портландцементного клинкера (40—65%) с кварцевым и известняковым песком с последующим смешением с добавкой трепела в виде водной суспензии (15—25%). Этот цемент может быть марок 100, 150 и 200 (при испытании пластичных растворов). Цемент обладает малой экзотермией, малой усадкой, повышенной устойчивостью против воздействия агрессивных сред.

Местные вяжущие материалы могут быть изготовлены путем тщательного перемешивания воздушной извести (15—25%) с тонкомолотой активной гидравлической добавкой (75—80%) или совместным помолом с добавлением гипса не более 5%. В зависимости от качества и вида добавки эти цементы называют *известково-кремнеземистые, нефелиновые* (тонкий помол нефелинового шлака 85%, извести 15% и гипса 5%), *известково-трепельные, известково-золевые, известково-глинистые*. Они медленно схватываются, медленно твердеют и обладают большой водопотребностью. При температуре ниже +10°С применять их без искусственного прогрева не следует.

Бетонные изделия с использованием этих цементов при автоклавной обработке (давлении 9 кгс/см² и температуре 180°С) быстро твердеют, достигая прочности 200—400 кгс/см² в результате взаимодействия гидрата окиси кальция с кремнеземом и образованием гидросиликатов кальция. Интенсивность процесса твердения зависит от тонкости помола и режима автоклавной обработки.

В зависимости от свойств эти цементы применяют для приготовления строительных растворов и низкомарочных бетонных изделий.

§ 33. ШЛАКОВЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Доменные гранулированные шлаки, являющиеся основным сырьевым материалом для производства шлаковых цементов, по химическому составу приближаются к портландцементу, но содержат меньше СаО и больше кремнезема и глинозема. Кроме окислов СаО, SiO₂ и Al₂O₃, шлаки содержат в небольшом количестве MgO, MnO, FeO, CaS, FeS.

При быстром охлаждении в процессе грануляции шлаки приобретают стекловидную структуру (стекловидного вещества в основных шлаках 40—50%, а в кислых — 85—95%), в результате чего химическая энергия остается в них в потенциальном состоянии. По-

этому гранулированные доменные шлаки при совместном помоле с возбудителями — щелочными (гидрат окиси кальция, гидрат окиси магния) или сульфатными (сульфаты кальция) — проявляют скрытую химическую энергию и приобретают способность при затворении водой схватываться и отвердевать. При взаимодействии с гидратной известью образуются гидроалюминаты и гидросиликаты кальция, а при соединении растворенных алюминатов с сульфатом кальция образуется кристаллической гидросульфалюминат кальция. Эта особенность доменных гранулированных шлаков используется при производстве шлаковых цементов.

Шлакопортландцемент — продукт тонкого совместного помола портландцементного клинкера с 30—70% доменного гранулированного шлака и гипса (не более 3% при пересчете на SO₃). Шлакопортландцемент может быть получен также путем тщательного смешения раздельно измельченных названных компонентов. Этот цемент по сути является разновидностью пуццоланового портландцемента, в котором активной добавкой является доменный гранулированный шлак.

В основном шлакопортландцемент имеет те же показатели, что и пуццолановый портландцемент: его плотность 2,8—3,0, объемная масса в рыхлом состоянии 900—1200 кг/м³, а в уплотненном состоянии — 1400—1800 кг/м³, начало схватывания не ранее 45 мин, а конец не позднее 12 ч. Это медленноотвердевающий цемент; при понижении температуры заметно замедляет твердение. Повышение температуры во влажной среде эффективно ускоряет твердение (пропаривание в камерах или запаривание в автоклавах).

В процессе твердения необходимо длительное время выдерживать изделия на шлакопортландцементе во влажной среде, так как преждевременное просыхание оказывает отрицательное влияние на нарастание прочности. Он более устойчив, чем портландцемент в агрессивных водах. Попеременное увлажнение и высыхание, а также замораживание и оттаивание вредно сказываются на затвердевшем цементе. Хотя он и более устойчив в агрессивных средах, но концентрированные растворы магниевых солей разрушают цементный камень. Различные кислоты также разрушают его.

Шлакопортландцемент выпускают марок 200, 300, 400 и 500 с той же тонкостью помола, что и портландцемент. Он находит такое же применение в строительстве, как и пуццолановые цементы. Затвердевший цемент имеет синеватые и зеленовато-грязные оттенки, а затворенный водой издает в первые дни запах сероводорода. Активность шлакопортландцемента со временем понижается быстрее, чем портландцемента, поэтому долго хранить его на складах не рекомендуется.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент получают в результате совместного помола предварительно тонкоизмельченных в мельницах цементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипсового камня. Тонкость помола цемента должна быть 3500—4500 см²/г. Цементный клинкер для производства этого цемента должен содержать C₃S 55—60% и C₃A 8—10%.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент на третьи сутки твердения нормального раствора характеризуется прочностью при сжатии 200 кгс/см² и при изгибе — 35 кгс/см².

Известково-шлаковые и сульфатно-шлаковые цементы. *Шлаковые (бесклинкерные)* цементы изготавливают путем совместного тонкого помола доменных гранулированных шлаков с добавками извести, обожженного доломита и гипса. Для изготовления этих цементов необходимы только сушильные и помольно-смесительные установки. Разработке технологии производства этих цементов посвящены работы П. П. Будникова, Е. И. Орлова, В. М. Лежоева и др. Шлаковые цементы бывают известково-шлаковые и сульфатно-шлаковые.

Известково-шлаковый цемент изготавливают путем тонкого помола смеси доменного гранулированного шлака и воздушной извести (преимущественно негашеной) в количестве 10—30% с добавкой гипса (до 5%).

Сульфатно-шлаковый цемент — продукт совместного тонкого помола доменного гранулированного шлака (75—85%) и гипса (15—20%) с добавками портландцементного клинкера до 5% или извести до 2%.

Известково-шлаковый цемент — это медленно схватывающийся и медленно твердеющий цемент. Необходимым условием нормального твердения цемента является влажная среда; он стоек против воздействия проточных и агрессивных вод, а также отличается большей морозостойкостью, чем известково-пуццолановый цемент. При температуре наружного воздуха ниже +10°С применять известково-шлаковые цементы не рекомендуется. Эти цементы выпускают марок 50, 100 и 150. Сроки схватывания: начало 4—5 ч и конец 10—12 ч, при этом в первые 7—10 дней твердение протекает медленно. Известково-шлаковые цементы утрачивают активность при длительном хранении, поэтому рекомендуется проверять их качество через каждые два месяца. Эти цементы применяют для приготовления строительных растворов и бетонов низких марок.

Сульфатно-шлаковый цемент выпускают марок 150, 200, 250 и 300. Сроки схватывания и особенности твердения те же, что и у известково-шлакового цемента. При небольшом содержании гипса процесс твердения ускоряют пропариванием, автоклавной обработкой или добавками CaCl₂. Сульфатно-шлаковые цементы применяют для приготовления строительных растворов и бетонов, для подземных и подводных сооружений, в том числе подвергающихся воздействию углекислых и сульфатных вод наравне с шлакопортландцементом соответствующих марок.

§ 34. ГЛИНОЗЕМИСТЫЕ (АЛЮМИНАТНЫЕ) ЦЕМЕНТЫ

Глиноземистый цемент — продукт тонкого помола предварительно измельченного клинкера, полученного сплавлением или спеканием пород, богатых глиноземом, с известняком, взятых в определенном соотношении.

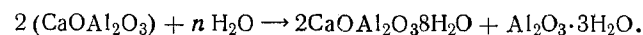
Для производства глиноземистых цементов используют бокситы — осадочные горные породы, состоящие преимущественно из гидратов глинозема с примесью гидрата окиси железа, кварца и др. Кроме бокситов, которые имеют ограниченное распространение в природе, для изготовления глиноземистых цементов применяют также некоторые отходы промышленности, богатые глиноземом (например, доменные глиноземистые шлаки).

Глиноземистые цементы изготавливают способом сплавления или, что реже, спеканием сырьевой смеси. В первом случае предварительно дробленый боксит подвергают сушке в барабане при температуре до 800°С, что облегчает его дальнейшее измельчение. Подготовленный боксит направляют в силос, а затем в необходимом количестве подают в печь. Туда же загружают потребное количество предварительно обожженного известняка. Плавить можно в ваграночных, доменных или электрических печах при температуре 1500—1650°С. Расплав цементного клинкера сливают в изложницы, в которых и происходит медленное его остывание. После выдерживания на складе чушки сплава дробят, а затем размалывают в многокамерных мельницах.

Во втором случае боксит после высушивания и дробления загружают в силос, куда дозируют подсушенный и раздробленный известняк. Затем подготовленную шихту увлажняют, брикетируют в кирпичи и подают в печь для обжига. Во вращающихся печах обжиг можно вести как по сухому, так и по мокрому способу; в последнем случае шихта не брикетируется. После спекания цементный клинкер направляют на склад, затем подвергают тонкому размолу и транспортируют в силосы готового цемента.

Глиноземистый цемент содержит глинозема около 50%, окиси кальция до 45%, кремнезема 5—10% и окиси железа 1—15%. Главными составляющими цемента являются CaOAl₂O₃, 5CaO3Al₂O₃ и CaO2Al₂O₃, некоторое количество 2CaOSiO₂ и инертная составляющая 2CaOSiO₂Al₂O₃ (геленит).

При затворении глиноземистого цемента водой основное соединение — однокальциевый алюминат, входящее в его состав, энергично реагирует с водой, образуя



При твердении цемента при температуре выше 20—25°С возможно образование трехкальциевого гидроалюмината 3CaOAl₂O₃·6H₂O. Другие соединения цемента — алюминаты, ферриты и силикаты кальция — подвергаются гидратации или гидролизу и образуют гидроалюминаты, гидроферриты и гидросиликаты кальция.

Отсутствие в затвердевшем при нормальных условиях цементе свободной гидратной извести и, как правило, трехкальциевого гидроалюмината обуславливают его устойчивость в проточных и агрессивных водах. Концентрированные же растворы сернистого магния, щелочей и сильные кислоты разрушают затвердевший цемент.

Глиноземистый цемент — быстротвердеющий вяжущий материал. Его марки устанавливают по показателю прочности нормального раствора на третьи сутки:

Марка 400 — через одни сутки	200, через трое суток	400
" 500	" " "	275
" 600	" " "	350

Наряду с этими марками глиноземистые цементы можно выпускать марки 700.

После трех дней твердения прочность цементного камня в последующие дни нарастает медленно: к семи дням на 20% и к 28 дням на 30—40%. При схватывании и твердении цемент выделяет большое количество тепла (60—90 ккал). Нормальными условиями твердения считаются такие, когда температура бетона или строительного раствора на глиноземистом цементе не превышает 25° С. Поэтому в случае превышения этой температуры бетон (или раствор) нуждается в охлаждении и требует усиленной поливки водой. Сроки схватывания цемента: начало не ранее 30 мин, а конец не позднее 12 ч. По плотности и объемной массе он мало отличается от портландцемента.

Растворы на глиноземистом цементе более вязки, поэтому время перемешивания смесей необходимо увеличивать примерно в 2 раза по сравнению с портландцементом, а отношение взятой для затворения воды к цементу должно быть не менее 0,5—0,6. Глиноземистый цемент нельзя смешивать с портландцементом или известью, так как при этом резко понижается его прочность. При длительном хранении (6—12 мес) прочность цемента снижается незначительно.

Глиноземистый цемент применяют при срочных бетонных работах при производстве работ в зимних условиях, при восстановительных работах, для тампонажных работ и для элементов бетонных сооружений, находящихся в зоне агрессивных вод.

Ангидритовый глиноземистый цемент (АГ-цемент) получают путем смешения его с добавкой ангидрита (предложен П. П. Будниковым). Добавка ангидрита придает цементу свойства нормального твердения и при повышении температуры более 25° С. Этот цемент выпускают марок 300, 400, 500 и 600.

Шлакоглиноземистый цемент — продукт тонкого размолла клинкера глиноземистого цемента с добавкой доменного гранулированного шлака (не более 60%). Его выпускают марок 300 и 400. Этот цемент применяют в бетонах марок до 200, которые нормально наращивают прочность при повышенных температурах (выше 25° С), и для элементов конструкций, работающих в агрессивной среде.

Расширяющийся цемент получают в результате тщательного смешения глиноземистого цемента (или портландцемента) с расширяющейся в процессе схватывания и твердения добавкой.

В отличие от портландцемента, который в процессе твердения за счет удаления воды, уплотнения геля и дальнейшей кристалли-

зации проявляет усадочные явления, расширяющийся цемент при твердении несколько увеличивается в объеме (или не изменяет объема — *безусадочный цемент*).

Такие цементы необходимы для заделки стыков сборных железобетонных и бетонных элементов, для зачеканки стыков тубингов, труб, для торкретной гидроизоляции и пр.

Расширяющийся цемент, предложенный В. В. Михайловым, изготавливают путем смешения глиноземистого цемента (около 70%) и расширяющейся добавки, состоящей из 10% высокоосновного гидроалюмината и 20% гипса. Начало схватывания этого цемента не ранее 4 мин, а конец не позднее 10 мин. Линейное расширение во влажной среде 0,5—1,0%, а на воздухе не менее 0,05%. Для замедления схватывания в необходимых случаях к нему добавляют сульфитно-спиртовую бражку в количестве 0,5%.

П. П. Будников предложил изготавливать расширяющийся цемент путем смешения портландцемента с добавкой (до 7%) тонкомолотого продукта обжига доломита при 800—900° С.

Безусадочный цемент (по В. В. Михайлову) можно получить путем смешения глиноземистого цемента 85%, гипса 10% и извести 5%. Линейное расширение такого цемента во влажной среде 0,3%.

ГЛАВА V

Цементобетон

§ 35. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Цементобетоном называют строительный материал, полученный в результате тщательного смешения, укладки, уплотнения и последующего затвердения рационально рассчитанной смеси из щебня (или гравия), песка, цемента, воды и необходимых добавок. Смесь из перечисленных компонентов до ее затвердения называют *бетонной смесью*. Добавки, которые вводят в смесь, в зависимости от их назначения могут быть пластифицирующие, воздухововлекающие, ускорители твердения и др.

Цементобетон является ведущим материалом строительной индустрии: его широко применяют в различных промышленных, коммунальных, гидротехнических и других сооружениях. Из цементобетона выполняют монолитные (изготавливаемые на месте строительства), сборные (изготавливаемые индустриальным способом на заводах, полигонах) элементы различных сооружений (фундаменты, колонны, перекрытия и др.), дорожные и аэродромные покрытия. В последние годы цементобетон начали применять и в машиностроении для изготовления массивных деталей машин.

Широкое применение цементобетона в разнообразных областях строительства объясняется тем, что изделию из него можно придавать требуемые свойства, размеры, вид поверхности, а также тем,

что бетонные работы можно выполнять в короткие сроки и в любое время года. Выбирая составляющие требуемого качества и количества и применяя рациональную технологию производства бетонных смесей, управляя процессами структурообразования бетона, его физико-механические свойства (плотность, прочность, долговечность и др.) можно регулировать в широких пределах и заданном направлении. Возможность полной механизации и автоматизации отдельных технологических процессов — существенная положительная характеристика цементобетона как прогрессивного материала.

Вместе с тем цементобетон имеет и недостатки, главнейшим из которых является сравнительно малая прочность при изгибе (растяжении). Для устранения указанного недостатка в цементобетонные элементы в необходимых случаях вводят металлические стержни, сетки (арматуру). Вследствие длительного твердения бетонов, конструкции из них нельзя вводить в эксплуатацию непосредственно после укладки бетонной смеси; за твердеющим бетоном необходимо организовать тщательный уход. Научно обоснованное решение вопросов технологии позволяет устранять и такие отрицательные свойства бетона, как недостаточная устойчивость в агрессивных средах, деформации усадки и набухания, недостаточная жаростойкость и др.

Свойства бетонов определяются качеством составляющих и в значительной степени их структурой (строением). Регулируя структуру бетонов при одних и тех же составляющих, можно изменять свойства бетонов. Структура бетона определяется крупностью, гранулометрией, формой зерен и количественным соотношением его компонентов, их взаиморасположением и структурными связями, а также наличием пор и дефектов. Структура бетонов является неоднородной вследствие различных свойств компонентов (щебня, песка, цементного камня). Кроме того, в структуре бетона имеется много дефектов (микротрещин, пор), возникающих в процессе изготовления бетонных изделий. Это является причиной возникновения в бетоне внутренних напряжений с высокой степенью концентрации на границах раздела фаз, что существенно влияет на механические свойства. Для установления основных закономерностей влияния структуры на свойства бетонов целесообразно выделить следующие ее разновидности: *макроструктуру*, которая определяется крупной составляющей — щебнем (или гравием) и строительным раствором (смесью песка, цемента и воды); *мезоструктуру* — которая формируется песком и затвердевшим цементом и *микроструктуру* — цементным камнем.

Макро- и мезоструктура определяется количеством, крупностью, формой зерен щебня (гравия) и песка. В зависимости от соотношения составляющих, можно выделить *базальную*, *поровую* и *контактную* макро- и мезоструктуру. В бетоне с базальной структурой зерна щебня не образуют взаимных контактов, вследствие чего свойства бетона обуславливаются преимущественно свойствами раствора. Зерна щебня в этом случае не только не увеличивают

прочность бетона, но, действуя как концентраторы напряжений, могут снижать ее.

При постепенном насыщении макроструктуры щебнем до состояния взаимного контактирования зерен, образуется поровая структура, при которой образуется компактный щебенистый каркас, способный воспринимать значительные внешние усилия. При дальнейшем увеличении содержания щебня образуется контактная макроструктура, характерная для крупнопористых бетонов. Оптимальной макроструктурой для дорожных цементобетонов является структура, приближающаяся к поровой.

Микроструктура цементного камня представляет неоднородную капиллярно-пористую коагуляционно-кристаллизационную структуру, образующуюся в результате взаимодействия цемента с водой. Свойства микроструктуры зависят от минералогического состава цементного клинкера, добавок, тонкости помола цемента, количества воды для затворения, условий твердения и пр. Рациональное сочетание указанных факторов позволяет регулировать формирование микроструктуры цементного камня, а следовательно, придавать ему определенные свойства.

Основной классификацией бетонов по структурным признакам является деление бетонов по их объемной массе. Выделяют следующие группы:

Особо тяжелые бетоны с объемной массой более 2600 кг/м³, имеющие сложную плотную структуру и изготавливаемые с применением заполнителей, защищающих от рентгеновских и гамма-лучей (например, стальные опилки, барит и др.). Эти бетоны относят к группе специальных.

Тяжелые бетоны с объемной массой 2100—2600 кг/м³ — структура плотная, щебень из плотных и тяжелых горных пород или плотных металлургических шлаков, песок кварцевый.

Облегченные бетоны с объемной массой 1800—2000 кг/м³. Эти бетоны могут иметь плотную структуру, но с применением щебня из пород пониженной плотности, или крупнопористую структуру с применением щебня из плотных пород.

Легкие бетоны с объемной массой 1000—1800 кг/м³, а чаще 1300—1500 кг/м³ обладают плотным или крупнопористым строением с применением пористого щебня и песка, шлаковой пемзы (термозита), керамзита, перлита и др.

Особо легкие с объемной массой менее 1000 кг/м³ и чаще 500—800 кг/м³ с пористой структурой без щебня и песка (ячеистый бетон) или с применением пористого песка или пористого щебня в сочетании с поризованным цементным камнем.

Наряду с делением бетонов по структурным признакам их классифицируют по виду компонентов (различают цементный, известковый, гипсовый, керамзитовый, термозитовый бетон и т. д.). По назначению и условиям применения бетоны разделяют на обычный — для изготовления фундаментов, колонн, блоков зданий пролетных строений мостов; дорожный — для устройства дорожных и аэродромных покрытий; гидротехнический — для возведения плотин,

шлюзов и прочих гидротехнических сооружений; специальный — теплоизоляционный, жароупорный, кислотостойкий и др. Иногда делают бетоны и по технологическим признакам (вибрированный, трамбованный, вакуумбетон и др.).

Бетон как строительный материал применяли еще в глубокой древности, особенно широкое распространение он получил в XIX веке после изобретения портландцемента. Русские ученые внесли большой вклад в развитие науки о бетоне. В конце XIX века проф. И. Г. Малюга не только обобщил имевшийся производственный опыт, но и установил зависимость качества бетона от водоцементного отношения, расхода цемента и других факторов.

После Великой Октябрьской социалистической революции советские ученые Н. М. Беляев, И. А. Александрин, Б. Г. Скрамтаев, Н. С. Завриев и другие разработали теоретические основы технологии бетонов, новые более совершенные методы расчета состава, обосновали требования к составляющим материалам. Дальнейшее развитие исследований многообразных вопросов теории цементобетона получило в работах профессоров И. Н. Ахвердова, Ю. М. Баженова, А. Е. Десова, О. Я. Гершберга, И. А. Кириенко, С. А. Миронова, В. В. Михайлова, Н. В. Михайлова, В. М. Москвина, Н. А. Мошанского, О. П. Мчедлова-Петросяна, К. Д. Некрасова, А. А. Саталкина, В. И. Сорокера, С. В. Шестопова, А. Е. Шейкина. Научные исследования основных направлений в теории и технологии цементобетонов в настоящее время проводятся в ряде крупных научно-исследовательских институтов, ведущим из которых является Всесоюзный научно-исследовательский институт железобетона и бетона (г. Москва).

Ученые и инженеры разработали много приемов в технологии бетонов, основанных на различных принципах, которые обеспечивают получение бетонных изделий с заданными свойствами путем выбора в оптимальном соотношении исходных материалов определенного качества и технологических приемов, соответствующих формированию структуры бетона с заданной плотностью, однородностью, с минимально возможными внутренними напряжениями и минимальным количеством технологических дефектов.

§ 36. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

Щебень. Для цементобетона пригоден щебень из скальных горных пород (гранитов, известняков, песчаников и др.) и искусственных камневидных материалов (металлургических шлаков, керамики). Качество щебня как макроструктурной составляющей определяют крупностью, гранулометрическим составом и формой зерен, свойствами их поверхности (шероховатость, наличие смятых участков, чистота), свойствами исходной породы (прочность, морозостойкость, водопоглощение, минералогический состав и др.).

По гранулометрическому составу щебень может быть фракционированный (или сортовой) и рядовой.

Наибольшая крупность щебня определяется размерами бетонизируемых элементов, а также густотой арматуры. Обычно крупность щебня должна составлять не более $\frac{1}{4}$ минимального сечения элемента конструкции и не более наименьшего расстояния между стержнями арматуры железобетонной конструкции. Для бетонирования плит, полов и покрытий допускают наибольшую крупность зерен щебня до $\frac{1}{3}$ толщины плиты. При бетонировании массивных элементов сооружений можно применять и очень крупный щебень. Для изготовления бетонов специального назначения (например, высокопрочных, дорожных и аэродромных) наибольшая крупность щебня устанавливается 40, 20 и в отдельных случаях 10 и 5 мм. Такая крупность щебня не только улучшает физические свойства

бетона, но и увеличивает прочность бетона при изгибе и растяжении.

Для создания плотных смесей, которые обладали бы хорошими технологическими свойствами, применяют разноразмерный щебень, пустотность которого составляла бы не более 45%, а гранулометрический состав укладывался бы в предельные кривые (рис. 74). Для формирования макроструктуры с поровой цементацией предпочтительно применять прерывистый гранулометрический состав с исключением промежуточной фракции (например, при составе 40—20, 20—10 и 10—5 мм отсеивают фракцию 10—5 мм). В этом случае улучшаются технологические свойства смесей и повышаются механические свойства бетонов.

По форме предпочтительнее применять щебень кубовидный; содержание плоских (лещадных) и вытянутых (пальцевидных) зерен не следует допускать более 25%.

При взаимодействии цементного теста с поверхностью зерен щебня протекают физико-химические процессы, которые обуславливают прочность сцепления (адгезию) цементного камня со щебнем, а следовательно, и определяют прочность бетона в особенности при растяжении.

Высокое сцепление обеспечивает свежесобраный чистый щебень из известняков, металлургических шлаков. При использовании щебня из пород тонкопористой текстуры прочность сцепления с цементным камнем выше. Повышение шероховатости, уменьшение количества смятых участков также способствует увеличению сцепления цементного камня с зернами щебня.

По показателю прочности щебень должен быть примерно в 2 раза больше прочности бетона марки 350 и выше, который в инженерной конструкции будет подвергаться воздействию воды и низких температур; при этом водопоглощение щебня не должно быть более 3%. Если бетон не будет подвержен замерзанию, водопоглощение щебня может быть до 5%. Для бетонов марки 300 и ниже прочность щебня должна быть больше марки бетона в 1,5 раза. Для специальных бетонов (например, дорожного, аэродромного и др.), которые работают в конструкциях на изгиб и растяжение, следует определять прочность щебня на растяжение, которая в 1,5—2 раза должна превышать прочность бетона при растяжении (меньшее значение для щебня из известняков, песчаников, больше — для щебня из изверженных пород). Указанные требования к прочности сохраняются для щебня, изготовленного из дорожного клинкера, металлургических плотных шлаков. При этом следует учитывать, что сцепление цементного камня с поверхностью шлакового щебня, как правило, больше.

Щебень для цементобетона не должен содержать вредных примесей в виде сернистых и сернокислых соединений, корродирующих цементный камень, глинистых веществ, заметно снижающих качество бетона, и органических соединений, которые при заметном их содержании, в конечном счете, разрушают бетон. Морозостойкость

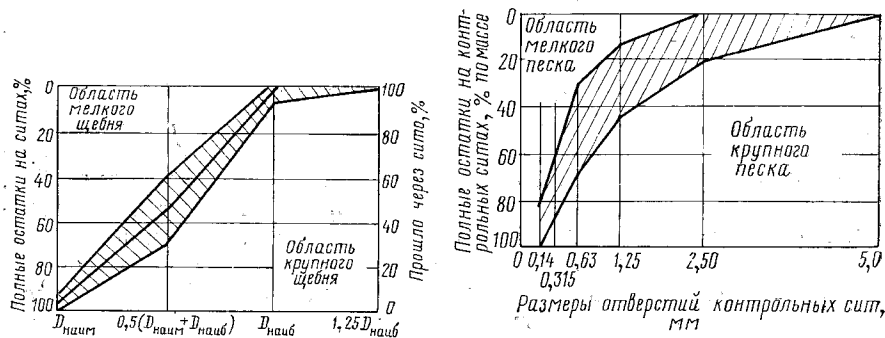


Рис. 74. Предельные кривые гранулометрического состава щебня и гравия

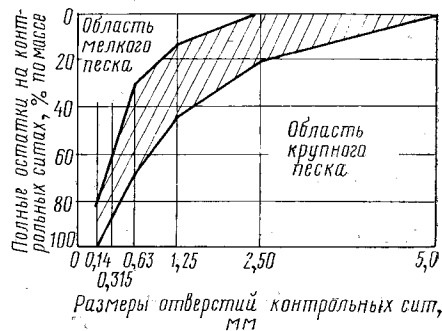


Рис. 75. Предельные кривые гранулометрического состава песка

щебня в каждом отдельном случае устанавливается проектом сооружения, и должна быть не ниже морозостойкости бетона.

Гравий — природная смесь в разной степени окатанных обломков горных пород (и минералов) различного петрографического состава с примесями песка, глинистых веществ, а в ряде случаев и органических соединений. Качество гравия, как макроструктурной составляющей бетона, определяется петрографическим составом, крупностью, гранулометрическим составом, формой и степенью окатанности его зерен, количеством и качеством примесей, а также физико-механическими свойствами гравия.

Требования к гравиям по крупности и гранулометрическому составу, водопоглощению и морозостойкости те же, что и к щебню. Лучшими разновидностями гравия являются те, которые состоят из зерен округлой, угловатой формы со слабоокатанной (шероховатой) поверхностью. Гравий, состоящий из плоских окатанных зерен, следует дробить на щебень.

Прочность бетона на гравии обычно ниже на 10—15% (при очень гладкой поверхности зерен даже на 30%), чем бетона на щебне (при равном водо-цементном отношении). Поэтому во всех случаях, если это по технико-экономическим соображениям целесообразно, рационально дробить крупный гравий на щебень; смесь дробленого гравия в количестве около 35% заметно улучшает качество гравия.

Содержание сернистых и сернокислых примесей в гравии не должно быть более 1% в пересчете на SO_3 , пылевато-глинистых примесей ограничивается не более 2% (по массе), а органических веществ — следы (не более эталона по колориметрической пробе).

Поскольку природный гравий в месторождениях, как правило, загрязнен пылевато-глинистыми примесями, добытый материал рационально промывать на специальных гравиемойках, а затем фракционировать. В тех случаях, когда гравий состоит из разнопрочных зерен, его подвергают сепарации с помощью классификаторов.

Песок. Для приготовления цементнобетонных смесей применяют, как правило, природные пески. Лишь в тех случаях, когда необходимо улучшить качество местного природного песка, к нему добавляют необходимое количество искусственного песка (высевки). Вопросы обогащения местных мелкозернистых песков добавками искусственных песков в каждом отдельном случае решаются с учетом технико-экономической целесообразности.

Качество природного песка для цементобетона определяют его крупностью, гранулометрическим и минералогическим составами, формой зерен, количеством и разновидностью примесей. Важной характеристикой песка для цементобетона является его водопотребность — способность удерживать определенное количество воды на поверхности зерен и в пустотах песка. Водопотребность песков (суммарный показатель качества) колеблется в пределах от 6—7% (для крупнозернистых песков) и до 12—13% (для мелкозернистых песков).

Крупность и гранулометрический состав имеют большое значение для получения бетонов заданной прочности при минимальном расходе цемента. Цементное тесто в бетонной смеси расходуется на заполнение пустот между зернами песка и обволакивание зерен. Следовательно, чем меньше удельная поверхность песка и его пустотность (это имеет место в крупнозернистых песках с плотным гранулометрическим составом), тем меньше расход цемента. Гранулометрический состав песка должен соответствовать графику его зернового состава (рис. 75). Крупность песков для цементобетона определяют в соответствии с показателями, приведенными в табл. 17.

Наличие в песках органических примесей, слюды, гипса заметно ухудшает качество цементобетона. Поэтому техническими условиями на песок для цементобетона ограничивают содержание слюды не более 0,5%, гипса не более 1%, пылевато-глинистых частиц не более 3% и органических примесей по колориметрической пробе не темнее цвета эталона.

Лучшими для бетонов являются слабоокатанные (ледниковые) крупнозернистые чистые пески. Поэтому речные, озерные и морские пески, обычно более чистые, являются лучшими. Однако в ряде случаев они содержат примеси створок ракушек, гравийные зерна, а иногда и глинистые примеси; в этих случаях их необходимо перегружать и промывать для освобождения от примесей.

Использование в бетонах местных мелкозернистых песков с повышенной удельной поверхностью и пустотностью обычно вызывает большой расход цемента. Прогрессивная технология производства бетонных смесей (введение пластифицирующих добавок, принудительное перемешивание и виброуплотнение) эффективно повышает использование местных мелкозернистых песков (табл. 30).

Цемент и добавки. Выбор цемента для бетона определяется условиями работы бетонных элементов сооружений. Так, для гидротехнических сооружений применяют портландцементы с умеренной экзотермией, пуццолановые портландцементы и шлакопортландце-

Таблица 30

Характеристика песков	Особенности технологии
Крупно- и среднезернистые пески с содержанием пылевато-глинистых примесей до 3%, мелкозернистые пески с содержанием примесей до 1%	Можно получить хорошие результаты при обычной технологии бетонных изделий
Мелкозернистые пески с содержанием пылевато-глинистых примесей до 3%	Рекомендуется применение принудительного перемешивания и поверхностно-активных веществ
Очень мелкозернистые и тонкозернистые пески с содержанием пылевато-глинистых примесей до 3%	Рекомендуется применение поверхностно-активных веществ, принудительного или виброперемешивание, виброуплотнение с пригрузом Гидротермальная обработка возможна при условии принятия мер, уменьшающих деформацию в изделиях

менты, для срочных работ — быстротвердеющие портландцементы и глиноземистые цементы, для работы в агрессивных средах — сульфатостойкие цементы, для заделки стыков бетонных элементов — расширяющиеся или безусадочные цементы и т. п.

В зависимости от заданной прочности бетона (его марки) соответственно устанавливают и требуемую активность (марку) цемента:

Марка бетона	150	200—250	300	400	500
Марка цемента	300	400	500	500—600	600

Для придания бетонной смеси определенных свойств в нее вводят добавки. Так, для повышения плотности и улучшения водоудерживающей способности в смесь вводят рассчитанное количество тонкомолотых минеральных материалов (кварцевого песка, доменного гранулированного шлака, вулканического туфа, трепела, известняка); для улучшения пластичности — поверхностно-активные пластифицирующие добавки (растворы сульфитно-спиртовой бражки, омыленного древесного пека, абиетиновой смолы), для ускорения процессов схватывания и твердения — раствор хлористого кальция и натрия. Для придания необходимой окраски в смесь вводят минеральные щелочноустойчивые краски.

Вода для затворения смесей. Для затворения бетонных смесей применяют чистую воду, не содержащую свободных минеральных и органических кислот (рН — водородный показатель — должен быть не более 4) и сульфатов (не более 2700 мг/л), а общее содержание солей не должно быть более 5000 мг/л. Морские и озерные воды, если они удовлетворяют указанным требованиям, могут применяться для производства бетонных смесей. Болотные, торфяниковые, а также сточные, загрязненные промышленными отходами, воды, применять нельзя.

Качество воды проверяют химическим анализом. В сомнительных случаях пригодность воды проверяют опытным путем, сравне-

нием показателей прочности при сжатии образцов бетона (в возрасте 28 дней), приготовленных в равных условиях на чистой и испытываемой воде. Если показатель прочности не менее прочности бетона, приготовленного на чистой воде, вода считается пригодной.

§ 37. СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Бетонная смесь должна обладать необходимыми технологическими свойствами, главными из которых являются ее *подвижность (текучесть), удобоукладываемость (жесткость) и пластичность*. Подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси характеризуют ее способность равномерно распределяться в армированном пространстве опалубки и уплотняться при заданной интенсивности механических воздействий. Показателем подвижности бетонной смеси является величина осадки (см) изготовленного из нее стандартного конуса под действием силы тяжести.

Удобоукладываемость смеси определяют техническим вискозиметром; показателем удобоукладываемости (жесткости) служит время (с), необходимое для расплыва (пластической деформации) конуса, изготовленного из бетонной смеси, до равномерного распределения ее в цилиндрическом сосуде технического вискозиметра, установленного на стандартном вибростоле, который колеблется с частотой 3000 кол/мин при амплитуде 0,35 мм.

Пластичность бетонной смеси характеризует ее способность деформироваться под нагрузкой без разрывов и расслаивания, сохранять полученную форму после снятия нагрузки. О пластичности бетонной смеси судят по степени нарушения сплошности и расслоения деформированного конуса. Все бетонные смеси независимо от их подвижности и удобоукладываемости должны быть достаточно пластичными для заданных условий формирования структуры бетона. По показателям подвижности и удобоукладываемости бетонные смеси делят на жесткие и подвижные (табл. 31).

Технологические свойства бетонной смеси определяются вязкостью растворной составляющей, а также содержанием и свойствами щебня или гравия (рис. 76). Удобоукладываемость бетонной смеси является наилучшей при оптимальном сопротивлении сдвигу растворной составляющей, равном 4—8 гс/см². С увеличением со-

Таблица 31

Бетонная смесь	Осадка конуса, см	Удобоукладываемость, с	Бетонная смесь	Осадка конуса, см	Удобоукладываемость, с
Особо жесткая	—	200	Малоподвижная	1—5	15—25
Повышенно жесткая	—	100—200	Умеренно подвижная	6—9	5—15
Жесткая	—	60—100	Подвижная	9—18	—
Умеренно жесткая	—	25—60	Текущая (литая)	18	—

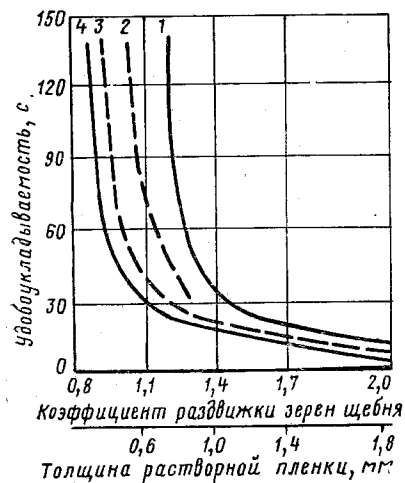


Рис. 76. Зависимость удобоукладываемости бетонной смеси от толщины растворной пленки:

1 — крупнозернистый песок; 2 — среднезернистый песок; 3 — мелкозернистый песок; 4 — цементное тесто

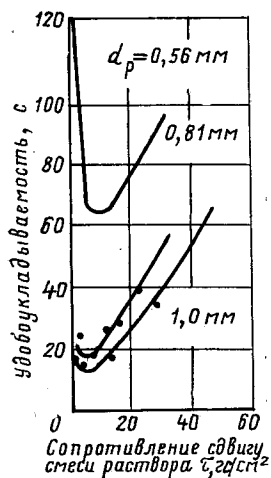


Рис. 77. Влияние сопротивления сдвигу растворной составляющей на удобоукладываемость бетонной смеси (d_p — толщина растворной пленки)

противления сдвигу раствора больше оптимального, удобоукладываемость бетонной смеси ухудшается; при сопротивлении сдвигу меньше оптимального из растворной части отделяется вода, вследствие чего бетонная смесь расслаивается, а ее пластичность становится неудовлетворительной.

В подвижных бетонных смесях базальной структуры сопротивление сдвигу растворной части практически постоянно и равно 4—8 гс/см², поэтому осадка конуса в таких смесях регулируется за счет изменения толщины растворной пленки. Однако уменьшение толщины растворной пленки ограничивается образованием поровой структуры, при которой зерна щебня контактируют, толщина растворной пленки минимально возможная, ее дальнейшее уменьшение резко ухудшает удобоукладываемость (рис. 77), поэтому в таких смесях (жесткие смеси) толщина растворной пленки практически постоянна, а их удобоукладываемость регулируется за счет изменения вязкости растворной составляющей.

Важным фактором, определяющим технологические свойства бетонной смеси и формирование структуры бетона, является содержание в ней воды. При малом количестве вода, взаимодействуя с минеральными составляющими бетонной смеси, сорбируется на поверхности их зерен, поэтому смесь является жесткой. Затем с увеличением количества воды образуются мениски в местах контактов зерен, она заполняет капилляры смеси. В этом случае незначительное увеличение содержания воды способствует уменьшению трения

между зернами заполнителя, снижению вязкости цементного теста, а в результате увеличению подвижности бетонной смеси. Если содержание воды в смеси превышает количество, при котором вода из смеси начинает отделяться (т. е. исчерпана водоудерживающая способность смеси), бетонная смесь расслаивается, нарушается однородность ее структуры. В этом случае вода скапливается в верхнем слое смеси, вследствие чего снижается прочность и долговечность бетона, или под зернами щебня, что ослабляет прочность сцепления с растворной частью.

В пластичных смесях для достижения заданной подвижности и удобоукладываемости требуется определенное количество воды, (водопотребность смеси), которое зависит от качества исходных составляющих. Водопоглощение бетонной смеси, так же как и ее водоудерживающая способность, возрастают с увеличением нормальной густоты цементного теста, удельной поверхности, крупности щебня и песка. С увеличением в щебне количества зерен лещадной формы, а также с повышением шероховатости их поверхности снижается подвижность смеси.

Мелкозернистые и одномерные пески ухудшают подвижность смеси, что объясняется повышенной удельной поверхностью их, вследствие чего требуется больше цементного теста для обволакивания их зерен. Поэтому при выборе песков для бетонов отдают предпочтение крупно- и среднезернистым чистым пескам, содержащим малое количество пылевато-глинистых примесей.

Подвижность смеси зависит также от вида цемента. Цементы с минимальной нормальной густотой цементного теста увеличивают подвижность бетонной смеси. При постоянной подвижности увеличение количества цемента, а также уменьшение крупности заполнителей улучшают пластичность бетонной смеси.

Помимо отмеченных структурных характеристик смесей, укажем ряд особенностей, имеющих технико-экономическое значение. Подвижные смеси в отличие от жестких характеризуются повышенным содержанием воды, что, в свою очередь, требует увеличения расхода цемента. Количество цемента определяется не только соображениями достижения потребной прочности бетона, но и необходимостью обеспечить требуемые технологические свойства смеси. Это приводит к неэкономичному расходу цемента. В жестких смесях вследствие ограниченного содержания воды количество цементного теста и песка доведено до минимума. Однако при применении жестких бетонных смесей возникает ряд технологических помех. Эти смеси труднее перемешивать и уплотнять.

Применение тех или иных смесей определяется не только имеющимся технологическим оборудованием, но и особенностями элементов бетонируемых конструкций. С усложнением конфигурации элементов конструкции, увеличением насыщения их арматурой подвижность бетонной смеси повышается. В табл. 32 приведены требования к подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси в зависимости от вида изготавливаемых элементов конструкций и способов уплотнения.

Таблица 32

Вид конструкций	Способ уплотнения		
	Вибрированием		Вручную
	Осадка конуса, см	Удобоукладываемость, с	Осадка конуса, см
Сборные железобетонные конструкции, изготавливаемые на заводах и полигонах	0	≥ 40	—
Подготовка под фундаменты, полы.	1—2	35—25	3—6
Основания дорожных покрытий	2—4	25—15	3—6
Массивные неармированные конструкции. Дорожные покрытия	4—6	15—10	6—8
Балки, колонны большого и среднего сечения	6—12	10—5	8—15
Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой (бункера, тонкие стенки, пролетные строения арочных и балочных мостов и др.)	12—18	—	—
Конструкции, выполняемые путем подводного бетонирования			

Важным свойством является *тиксотропия бетонной смеси*, т. е. ее способность обратимо восстанавливать структуру после снятия механического воздействия. Тиксотропные свойства заметно проявляются в период формирования коагуляционной структуры цементного теста.

Вследствие тиксотропного разжижения облегчается перемешивание бетонной смеси, ее транспортирование в виброжелобах, трубопроводах и особенно облегчается процесс уплотнения, а следовательно, и формирования необходимой структуры бетона. Способы виброуплотнения бетонных смесей базируются на понижении прочности их структуры, уменьшении вязкости в процессе уплотнения смеси. Явлением тиксотропии объясняется технико-экономический эффект вибрирования смесей, при котором значительно сокращается расход механической энергии.

Степень тиксотропного разрушения бетонной смеси зависит от режима приложения вибрационных воздействий, в частности, от частоты и амплитуды колебаний вибратора

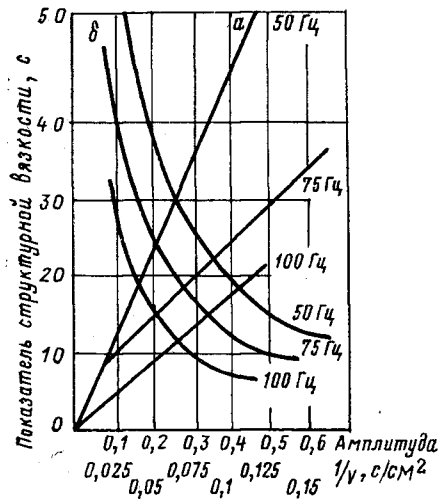


Рис. 78. Изменение удобоукладываемости бетонной смеси в зависимости от скорости a и амплитуды δ колебаний вибратора (по данным А. Е. Десова)

(рис. 78), оптимальные значения которых определяются свойствами и структурой бетонной смеси. Для повышения эффективности разжижения бетонной смеси необходимо, чтобы частота вынужденных колебаний приближалась к резонансной частоте собственных колебаний частиц бетонной смеси, которая повышается с уменьшением крупности частиц. Поскольку частицы бетонной смеси различны по размеру, желательно воздействовать на смесь разночастотной вибрацией, которая характеризовалась бы оптимальными частотами для щебня, песка и цементного теста.

Для сохранения состояния подвижности необходимо поддерживать определенную интенсивность механических воздействий. При прекращении вибрирования структура бетонной смеси восстанавливается, вследствие чего теряется временно приобретенная подвижность (рис. 79).

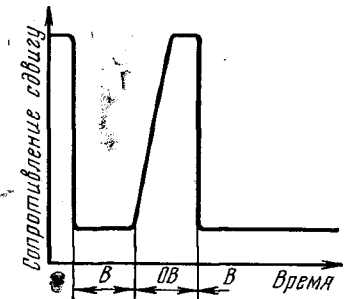


Рис. 79. Схема тиксотропного разупрочнения бетонной смеси: В — вибрирование; ОВ — остановка вибратора

§ 38. ОБЫЧНЫЙ (ТЯЖЕЛЫЙ) ЦЕМЕНТОБЕТОН

Наибольшее распространение в строительстве получил тяжелый бетон. Его применяют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций гражданских и промышленных конструкций, пролетных строений и опор мостов, устройства дорожных и аэродромных бетонных покрытий и др.

Качество тяжелого бетона характеризуется пористостью, водонасыщением, водопроницаемостью, прочностью, упруго-пластической деформацией, долговечностью, морозостойкостью.

Пористость в значительной степени определяет его свойства. С увеличением пористости заметно возрастает водопоглощение и водонасыщение, водопроницаемость, уменьшается прочность, морозостойкость и долговечность бетона.

Пористость бетонов вычисляют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma}\right),$$

где $V_{\text{пор}}$ — пористость бетона, %; γ_0 — объемная масса бетонов, г/см³; γ — плотность бетонов, полученная как средневзвешенная величина от плотности щебня, песка и цементного камня, г/см³.

Так как плотность щебня, песка и продуктов взаимодействия цемента с водой близки, а величина плотности бетонов колеблется в небольших пределах (2,65—2,70 г/см³), то пористость по существу зависит только от объемной массы бетона. Таким образом, деле-

ние бетонов по их объемной массе практически является классификацией по величине их пористости.

Обычно для тяжелых бетонов пористость составляет 10—15%, в отдельных случаях 5—7%. Дальнейшее понижение пористости затруднено вследствие трудностей уплотнения жестких бетонных смесей и удаления воздушной составляющей из них. Важными для оценки пористости являются показатели, характеризующие крупность, распределение пор, их форму и степень замкнутости. Размер пор и их строение определяют, в частности, характер связи воды, заключенной в порах, ее способность к миграции в бетоне, что существенно влияет на водопоглощение, водонасыщение, водопроницаемость и другие свойства.

Фильтрация воды в бетонах происходит по порам и капиллярам в цементном камне при размере их диаметра больше 1 мк, а также по микрополостям в местах контактов заполнителей и цементного камня.

Водопоглощение тяжелых бетонов колеблется в пределах 2—4% по массе (или 5—10% по объему), водонасыщение их больше. Разница между водопоглощением, водонасыщением обусловлена объемом замкнутых пор в бетоне.

Показателем *водонепроницаемости бетона* служит гидростатическое давление, при котором вода не просачивается через образец, испытываемый по стандартной методике. По водонепроницаемости бетоны делят на несколько марок (В-2, В-4, В-6, В-8; цифра обозначает величину гидростатического давления, при котором вода не просачивается).

Водопроницаемость, водопоглощение и водонасыщение бетонов могут быть значительно снижены при приготовлении бетонов с низким водо-цементным отношением при достаточном количестве цементного теста, а также при введении в бетон поверхностно-активных и в особенности воздухововлекающих добавок. Последние видоизменяют микроструктуру бетона за счет уменьшения водопотребности бетонной смеси и вовлечения некоторого количества воздуха в поры, которые блокируют сообщение между отдельными капиллярами и микрополостями.

Деформации под нагрузкой. Цементобетон является упруго-, вязко-пластическим материалом, вследствие этого при некоторой длительности действия механической нагрузки в бетонном образце наряду с упругими возникают и вязко-пластические деформации. Упругие деформации практически возникают мгновенно, а вязко-пластические — постепенно в течение длительного времени. Если в некоторый момент времени снять нагрузку, то деформация бетона уменьшится на величину, равную начальной упругой деформации. Затем происходит медленное восстановление некоторой части мгновенно необратимых деформаций бетона.

Необратимые упруго-пластические деформации, возникающие под влиянием постоянной нагрузки, называют деформациями ползучести. Деформации ползучести бетона подробно изучены в рабо-

тах проф. Фрейсинэ, А. А. Гвоздева, И. И. Улицкого и других и являются важным разделом теории предварительно напряженного железобетона. Величина деформаций ползучести может превышать упругие деформации бетона в несколько раз. Их величина возрастает с увеличением постоянной нагрузки и времени ее действия. Деформации ползучести определяются структурой бетона и прежде всего микроструктурой цементного камня. Гелевая составляющая цементного камня, а также развитие процесса микротрещинообразования в бетоне под воздействием механической нагрузки в основном обуславливают ползучесть (вязко-пластические деформации бетона). Повышенные тонкость помола цемента и водо-цементное отношение способствуют увеличению деформаций ползучести. С увеличением количества щебня и песка в бетоне его ползучесть уменьшается.

Прочность бетона. Ведущим показателем механических свойств бетонов является их сопротивление сжатию, характеризующееся так называемой маркой бетона. Марку бетона при сжатии определяют пределом прочности (кгс/см²) при сжатии бетонных кубов размером 20×20×20 см в возрасте 28 дней при твердении в нормальных условиях (температура 18—20°С и относительная влажность окружающей среды 90—100) %.

Вязко-пластические свойства бетона в значительной степени влияют не только на закономерность деформирования под воздействием приложенных напряжений, но и обуславливают зависимость прочности от скорости деформирования и скорости нагружения. С уменьшением скорости нагружения показатели прочности уменьшаются, приближаясь к некоторому пределу — длительной (долговременной) прочности бетона R_d . Допускаемые напряжения в бетонной конструкции должны быть меньше этой величины, однако ее определение затруднено, так как требуется длительное время для получения показателя R_d . Поэтому прочность бетона определяют при определенной (стандартной) скорости нагружения образца. По показателю прочности установлены следующие марки тяжелых бетонов: 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 и 600.

При расчете некоторых конструкций (например, бетонные покрытия и основания) в качестве расчетной прочности бетона принимается предел прочности на растяжение при изгибе. Марка бетона при изгибе определяется прочностью при изломе неармированных бетонных балочек размером 15×15×55 см сосредоточенными силами (рис. 80).

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ и предел прочности при сжатии $R_{сж}$ связаны между собой зависимостью $R_{изг} = R_{сж}^a$, где $a = 0,60—0,70$. Соотношение $\frac{R_{сж}}{R_{изг}}$ колеблется в пределах 6—10.

Для некоторых бетонных конструкций и изделий (трубы, резервуары и др.) ведущим показателем оценки качества бетона является его сопротивление растяжению. Предел прочности при растяжении определяют с помощью осевого растяжения образцов. Этот по-

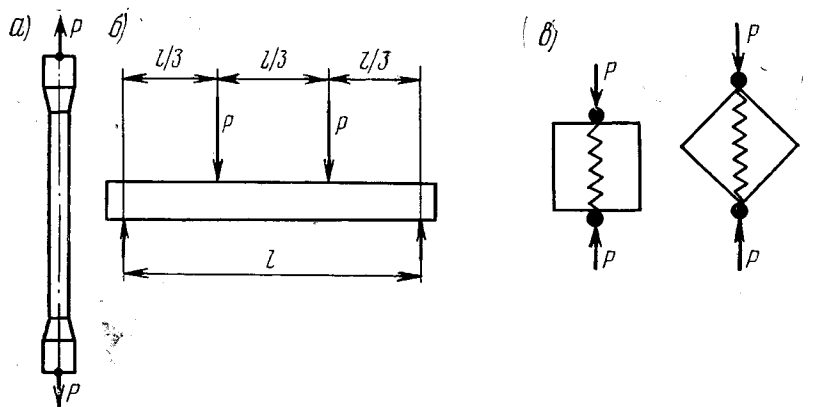


Рис. 80. Схемы испытания бетонных образцов:
а — на растяжение; б — изгиб; в — раскалывание

казатель можно определить и с помощью раскалывания бетонного образца.

Для тяжелых бетонов прочность при растяжении R_p меньше прочности при сжатии в 8—20 раз (меньшее соотношение соответствует бетонам марки 50 и большее — марки 600 и более).

Прочность при растяжении изменяется в большей степени, чем прочность при сжатии в зависимости от наличия микротрещин и других дефектов в структуре бетона. Поэтому соотношение этих величин $\frac{R_{сж}}{R_p}$ может служить показателем качества (дефектности)

структуры бетона. Чем больше $\frac{R_{сж}}{R_p}$, тем больше дефектов в структуре бетона, тем ниже его качество.

Прочность бетона как материала конгломератного строения зависит от прочности отдельных его составляющих: цементного камня, зерен щебня и песка, от прочности сцепления между ними, а также от особенностей структуры бетона в целом.

Зависимость прочности бетона от прочности цементного камня (активности цемента и водо-цементного отношения) подробно изучена в работах советских ученых. Эта зависимость представлена на рис. 81. Прочность бетона прямо пропорциональна активности цемента. С понижением водо-цементного отношения до известного предела прочности бетона данного состава и при данном способе уплотнения повышается. Известно, что количество воды, потребное для процессов гидролиза и гидратации цемента, составляет 10—20% от его массы ($\frac{B}{C} = 0,10 - 0,25$ или $\frac{C}{B} = 10 - 4$). Однако в этом

случае смесь получается жесткой и труднообрабатываемой, вследствие чего ее трудно перемешать, уложить в опалубку и уплотнить. При этом структура бетона формируется неплотной и пониженной прочности.

Оптимальное водо-цементное отношение, при котором прочность бетона наибольшая, определяется условиями удобообрабатываемости бетонной смеси. При обычных условиях уплотнения (вибрирования) оптимальное $\frac{B}{C}$ находится в пределах 0,4—0,5, а при усиленном уплотнении (вибропрессовании, виброштампованием и др.) — 0,3—0,4. Если в бетоне значение $\frac{B}{C}$ выше оптимального, то создается избыток свободной воды, которая увеличивает пористость цементного камня, а следовательно, и понижает прочность бетона.

Прочность бетона может быть представлена зависимостью

$$R_6 = A_1 A_2 A_3 R_{ц},$$

где R_6 и $R_{ц}$ — прочность бетона и активность цементного камня; A_1, A_2, A_3 — коэффициенты, количественно учитывающие влияние особенностей макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры на прочность бетона.

Для удобообрабатываемых бетонных смесей коэффициент микроструктуры A_3 может быть вычислен по формуле

$$A_3 = K \left(\frac{C}{B} - C \right).$$

После постановки значения A_3 в предыдущую формулу получим:

$$R_6 = A_1 A_2 K \left(\frac{C}{B} - C \right) R_{ц},$$

где $\frac{C}{B}$ — цементно-водное отношение; K и C — коэффициенты, зависящие от свойств цемента (минералогического состава, нормальной плотности и др.), технологии приготовления цементобетонных смесей, а также от методики определения прочности цементобетона и активности цемента.

При обычной технологии приготовления бетонных смесей применительно к бетонам 28-дневного возраста значения коэффициентов K и C могут быть определены по табл. 33. Для бетонов, твердение которых осуществляется в пропарочных камерах, значение коэффициента K должно быть уменьшено на 10—15%.

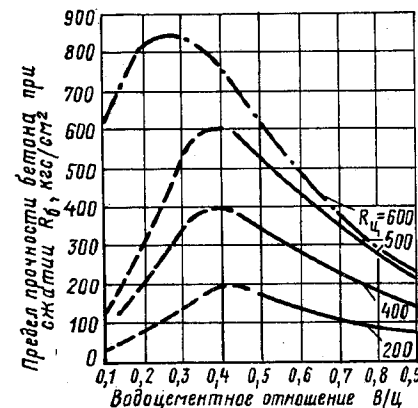


Рис. 81. Зависимость прочности бетона от активности цемента и водо-цементного отношения. $R_{ц}$ — активность цемента. Верхняя кривая получена при сильном уплотнении бетонной смеси

При использовании в бетоне портландцемента средней активности и при твердении бетона в нормальных условиях его прочности после трех дней твердения, как установил проф. Б. Г. Скрамтаев, увеличивается приблизительно пропорционально логарифму дней твердения. В соответствии с этим значение коэффициента K в зависимости от возраста бетона определяется по формуле

$$\frac{K_n}{K_m} = \frac{\lg n}{\lg m},$$

где K_n, K_m — значение коэффициентов K при твердении бетона через n и m дней.

Таблица 33

Коэффициенты	Цемент испытывался в растворе пластичной консистенции (ГОСТ 310—60)		
	Сжатие	Изгиб	Растяжение
K	0,58	0,42	0,21
C	0,50	0,30	0,30

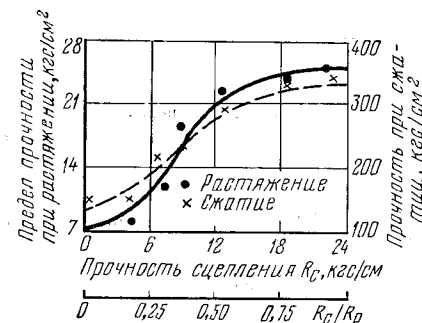
Величина коэффициента K зависит также от добавок, вводимых в бетонную смесь и, в частности, добавок-ускорителей.

Численное значение коэффициентов макро- и мезоструктуры (A_1, A_2) определяется свойствами щебня и песка. Существенное влияние на прочность бетонов оказывает прочность сцепления зерен щебня с раствором и зерен песка с цементным камнем

Таблица 34

Характеристика щебня	A_1 при сжатии		A_1 при изгибе	
	Пластичные смеси	Жесткие смеси	Пластичные смеси	Жесткие смеси
Известняковый и шлаковый щебень	1,08	1,13	1,17	1,22
Фракционированный гранитный щебень	1,08	1,13	1,08	1,13
Рядовой гранитный щебень. Фракционированный гравий	1,00	1,05	1,00	1,05
Рядовой гравий	0,94	1,00	0,90	0,95
Щебень, имеющий пылеватоглинистую пленку	0,90	—	0,85	—

Рис. 82. Влияние прочности сцепления зерен щебня с раствором на прочность бетона (прочность раствора $R_p = 24$ кгс/см²)

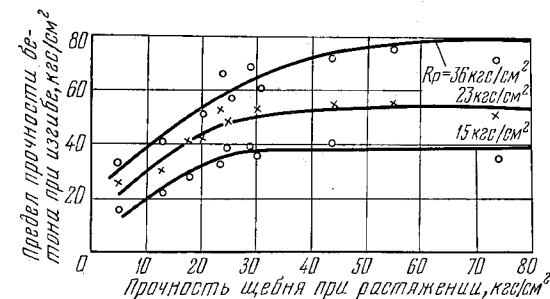


(рис. 82), которая зависит от химико-минералогического состава цемента, чистоты и шероховатости поверхности зерен щебня.

Если прочность зерен щебня R_3 ниже определенного предела — для гранитов $R_3 > (2,0—2,5)R_6$, для известняков $R_3 > (1,5—2,0)R_6$ — прочность бетона может существенно уменьшиться (рис. 83). Количество щебня и песка в бетоне (рис. 84), их гранулометрический состав, форма и крупность зерен играют важную роль в формировании оптимальных структур бетона.

Поэтому указанные параметры могут изменить прочность бетона в пределах 15—20%.

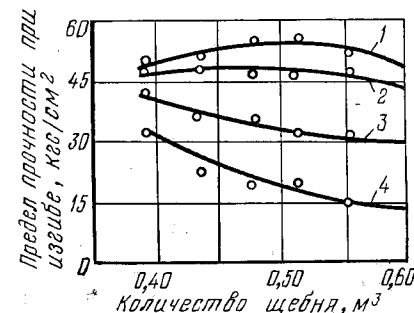
Рис. 83. Влияние прочности зерен щебня на прочность бетона



При использовании прочного щебня и кварцевого песка для дорожных цементобетонов численное значение коэффициентов A_1 и A_2 можно определить по табл. 34 и 35.

Рис. 84. Влияние прочности и количества щебня на прочность бетона:

1 — щебень с пределом прочности при растяжении 88 кгс/см²; 2 — то же, 26 кгс/см²; 3 — то же, 10 кгс/см²; 4 — то же, 5 кгс/см²



Характеристика песка	A_2 при изгибе	A_2 при сжатии	
		Водопоглощаемость песков, %	
		7—9	9—12
Искусственные пески (высевки)	1,15	1,10	1,05
Чистые, кварцевые	1,00	1,00	0,95
Пески с сильно окатанными зернами, а также загрязненные	0,93	0,95	0,90

Важной характеристикой бетона является его *модуль упругости*, величину которого ориентировочно можно определить по формуле:

$$E = \frac{1000\,000}{1,7 + \frac{360}{R}}$$

где $R_{сж}$ — предел прочности бетона при сжатии.

Модуль упругости бетона зависит не только от его прочности, но и от структуры бетонов, свойств песка, щебня и др. При равной прочности с уменьшением крупности зерен щебня модуль упругости уменьшается, с ростом упругости зерен песка и щебня его значение увеличивается.

Зависимость относительной деформации бетона от приложенного напряжения не прямолинейна (рис. 85), вследствие этого с ростом напряжений величина модуля упругости изменяется. Поэтому при экспериментальном определении модуля упругости пользуются формулой

$$E = \frac{0,2R_{мп}}{\epsilon_1},$$

где $R_{мп}$ — призмная прочность бетона, кгс/см² (предел прочности при сжатии призмы 15×15×60 см или 10×10×40 см); ϵ_1 — относительная деформация бетона при величине напряжений $\sigma = 0,2 R_{мп}$.

Для напряжений $\sigma \geq 0,2 R_{мп}$ определяют переменную величину — модуль деформации как отношение напряжений к полной относительной деформации.

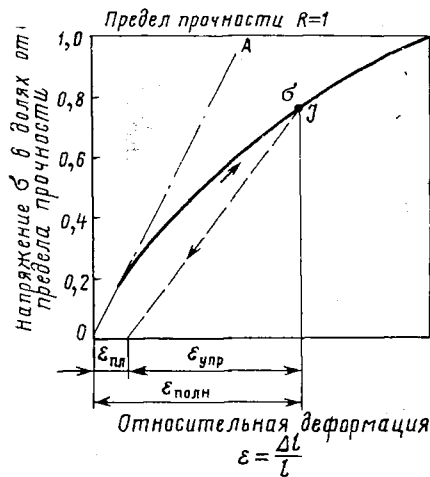


Рис. 85. Кривая деформирования бетона:

$\epsilon_{полн}$ — полная относительная деформация;
 $\epsilon_{упр}$ — упругая относительная деформация;
 $\epsilon_{пл}$ — пластическая относительная деформация

Для бетонов марок 200—400 модуль упругости находится в пределах $3 \cdot 10^5$ — $4 \cdot 10^5$ кгс/см². При напряжениях $\sigma = R_d$ (длительной прочности) модуль деформации уменьшается на 10—25% по сравнению с модулем упругости.

Для ряда конструкций, в том числе и дорожных плит, важное значение имеет *усталостная прочность* бетона — его способность сопротивляться воздействию многократных переменных нагрузок. Эти нагрузки рассчитывают структуру бетона, вследствие чего он разрушается при более низких напряжениях, чем при однократном нагружении. Взаимосвязь между разрушающими напряжениями σ_y и количеством циклов напряжений N , приложенных до разрушения бетона, представлена на рис. 86. Если $\sigma_y = R_t$ (R_t — прочность, характеризующая однократное разрушение бетона при скорости нагружения, равной скорости нарастания напряжений в пределах одного цикла), то бетон разрушается за один цикл. С уменьшением σ_y возрастает количество циклических нагружений N до разрушения бетона. Если $\sigma_y \leq R_y$ (R_y — физический предел усталости, при котором бетон практически не разрушается), то бетон не только не разрушается при циклическом нагружении, но и наблюдается некоторое его упрочнение, обусловленное микропластическими деформациями в структуре, уменьшающими концентрацию напряжений в бетоне.

Усталостная прочность бетонов возрастает с улучшением однородности структуры бетонов больше, чем статическая. Высокая усталостная прочность характерна для мелкозернистых бетонов естественного твердения, приготовленных на известняковом и шлаковом щебне. Особенно отрицательно влияет на усталостную прочность низкая прочность сцепления между составляющими бетона, увеличение их неоднородности по свойствам. Уменьшение водо-цементного отношения, введение в смеси поверхностно-активных веществ способствуют некоторому повышению усталостной прочности. Увлажнение бетонов резко уменьшает их усталостную прочность. У воздушносухих бетонных образцов при многократном нагружении, равном 1 млн. циклов, $\sigma_y = 60$ —70%, у водонасыщенных $\sigma_y = 25$ —40% от прочности однократного нагружения, определяемого в стандартных условиях.

Деформации при изменении влажности. С изменением влажности бетон претерпевает некоторые объемные изменения (рис. 87). Если бетон находится постоянно во влажной среде, происходит постепенное увеличение его объема — *набухание бетона* и, наоборот, с уменьшением влажности бетон уменьшается в объеме — *усадка бетона*.

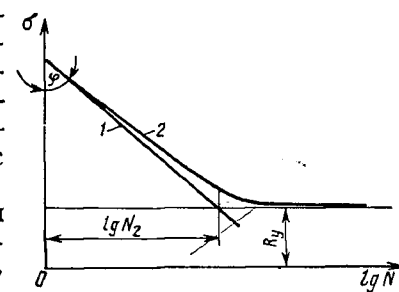


Рис. 86. Схема зависимости усталостной прочности бетона от количества циклов нагружения N :

1 — кривая усталости, соответствующая приведенной формуле; 2 — касательная к кривой усталости

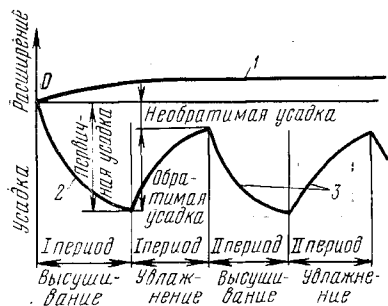


Рис. 87. Усадка бетона при чередующихся увлажнении и высушивании: 1 — расширение бетона, постоянно находящегося во влажном состоянии; 2 — усадка бетона при высушивании; 3 — усадка и расширение при чередующихся высушивании и увлажнении

Усадка бетона при твердении происходит в две стадии. Первичная усадка бетона вызвана испарением и возможной утечкой воды из бетонной смеси через опалубку, поглощением влаги опалубкой, а также основанием в дорожной одежде.

Вторичная усадка происходит в процессе твердения и высыхания цементобетона. Этот вид усадки частично обратим, так как при последующем увлажнении происходит расширение бетона. Размер усадки и ее развитие зависят от минералогического состава и добавок, тонкости помола цемента, водо-цементного отноше-

ния, а также от свойства и количества заполнителей в бетоне, температуры и влажности окружающей среды. Повышенная усадка характерна для бетонов с большим содержанием цемента и водо-цементным отношением ($\frac{B}{C}=0,6$). Ориентировочно коэффициент усадки для дорожных бетонов можно принять равным 0,00015.

Температурные деформации. Величина коэффициента температурного расширения или сжатия изменяется в зависимости от состава бетона и его влажности. Для практических целей можно принять коэффициент температурного расширения бетона, равным $10 \cdot 10^{-6}$ на 1°C . При оценке температурных деформаций в больших массах бетона обычно принимают половину значения указанного коэффициента, полагая, что остальная часть компенсируется ползучестью бетона. Температурные деформации бетона вызывают напряжения в плитах дорожных одежд и могут вызвать образование трещин. Для устранения этого явления в бетонных покрытиях устанавливают температурные швы.

Долговечность бетона. Долговечность бетона характеризует длительность воздействия погодно-климатических, физико-химических, механических факторов, при которой свойства бетона не ухудшаются больше допустимых пределов. Долговечность бетона измеряют единицами времени (с, сут, год и т. п.), а также количеством циклов воздействия указанных факторов.

Морозостойкость. В зависимости от условий работы к бетонным элементам конструкций предъявляют определенные требования по морозостойкости. Морозостойкость характеризуется количеством циклов замораживания бетонных образцов до температуры минус 20°C и последующего оттаивания до комнатной температуры. По показателям морозостойкости $M_{рз}$ бетоны делят на марки 50, 100, 200, 300.

Большое влияние на морозостойкость оказывает количество пор в бетоне (плотность) и характер пористости. У бетонов с высокой морозостойкостью водо-цементное отношение должно быть меньше 0,5. Нежелательны в бетоне сообщающиеся между собой капиллярные поры, обуславливающие интенсивный подсос воды. В то же время более крупные заполненные воздухом и плохо сообщающиеся между собой поры оказывают небольшое влияние на морозостойкость.

Морозостойкость бетона зависит также от свойств цемента, щебня и песка. В морозостойких бетонах применяют портландцементы с содержанием алюмината C_3A меньше 8%. Пуццолановые и шлакопортландцементы снижают морозостойкость вследствие их большой водопотребности, характеризуемой повышенной нормальной густотой цементного теста.

Для повышения морозостойкости бетона необходимо подбирать плотные составы смесей из морозостойкого щебня и песка с оптимальным количеством цемента при наименее возможном количестве воды, применять прогрессивную технологию перемешивания и уплотнения смесей, а также обеспечить уход за свежесделанным бетоном в начальный период его твердения, в частности, обработкой поверхности плит битумной (или дегтевой) эмульсией или разжиженным битумом. Повышают морозостойкость гидрофобные воздухововлекающие добавки.

Введение в бетонную смесь специальных добавок в виде растворов, суспензий и эмульсий заметно понижает пористость и морозостойкость бетона. Так, известные добавки, изготавливаемые на основе хлористого кальция в сочетании с хлористым алюминием и хлористым железом, добавки силикарбона (природная смесь кремнезема и графита), эмульсий высокомолекулярных соединений (битумные, полимерные) и др.

Коррозия бетона — разрушение бетона под влиянием физико-химического воздействия факторов среды. Коррозия зависит главным образом от коррозионной устойчивости цементного камня. Чем больше поверхность (внешняя и внутренняя) бетона, соприкасающаяся с агрессивной газообразной или жидкой средой, тем энергичнее протекает коррозия бетона. Электрический ток разрушает влажный бетон, вызывая электролиз составляющих цементный камень.

Для придания коррозионной устойчивости бетону необходимо: применять соответствующие агрессивности среды цементы — шлаковый, сульфатостойкий или глиноземистый, а в отдельных случаях — кислотоупорный, придавать большую плотность бетону, защищать поверхность бетона от возможного проникновения газов и воды с растворенными в них агрессивными веществами, затиркой поверхности изделия раствором жидкого стекла с последующей обработкой хлористым кальцием или кремнефтористым натрием, обработкой поверхности битумом или дегтем, битумной эмульсией или разжиженным битумом (дегтем), нанесением на поверхность пленкообразующих высокомолекулярных веществ.

Технология бетонных работ включает выбор материалов, хранение и переработку их с целью улучшения качества; расчет состава бетонов, приготовление бетонной смеси и ее транспортирование к месту укладки; укладка и уплотнение (формование) бетонных смесей; обеспечение заданных условий твердения бетонных изделий; контроль качества затвердевших изделий.

Выбор материалов и расчет состава бетонов. Материалы для бетона должны соответствовать требованиям технических правил и эксплуатационным условиям работы бетонных изделий (см. § 36). Материалы выбирают с учетом особенностей технологического процесса. В ряде случаев, чтобы обеспечить это соответствие, вносят коррективы в выбор исходных материалов или в технологию производства бетонных изделий.

Основной целью расчета состава бетона является определение такого соотношения составляющих, которое обеспечивало бы требуемые свойства бетонной смеси и бетона при минимальном расходе цемента. После выбора исходных материалов надлежащего качества эта задача решается расчетом состава бетона — расхода цемента, воды, песка и щебня на 1 м³ уплотненного бетона. Исходными данными для расчета состава бетона являются заданная марка бетона R_6 и требуемая подвижность ОК или удобоукладываемость U бетонной смеси. В необходимых случаях задаются показателями морозостойкости, водонепроницаемости и другими свойствами бетона.

Для определения ориентировочного состава бетона пользуются таблицами И. М. Френкеля, А. И. Авакова и др. Более точно состав тяжелых бетонов рассчитывают по методу абсолютных объемов (разработан проф. Б. Г. Скрамтаевым), который сводится к решению следующих четырех уравнений с четырьмя неизвестными — расход воды B (л), цемента C (кг), песка P (кг) и щебня $Щ$ (кг):

1. Зависимость прочности бетона от его структуры и активности цемента

$$R_6 = A_1 A_2 K \left(\frac{C}{B} - C \right) R_{ц.}$$

Решая это уравнение, определяют

$$\frac{B}{C} = \frac{A_1 A_2 K R_{ц.}}{R_6 + A_1 A_2 K C R_{ц.}}$$

Коэффициенты K , C , A_1 , A_2 определяют по табл. 33—35.

2. Зависимость водопотребности бетонной смеси от ее подвижности и удобоукладываемости и свойств исходных материалов (рис. 88), по которой определяют расход воды на 1 м³ бетонной смеси.

Зная $\frac{B}{C}$ и расход воды, можно вычислить расход цемента на 1 м³ бетона:

$$C = B : \frac{B}{C}.$$

3. Сумма абсолютных объемов исходных материалов в 1 м³ бетона близка к 1000 л, поэтому, пренебрегая содержанием воздуха в бетонной смеси, принимают

$$\frac{C}{\gamma_{ц.}} + \frac{B}{\gamma_{в.}} + \frac{P}{\gamma_{п.}} + \frac{Щ}{\gamma_{щ.}} = 1000,$$

где $\gamma_{ц.}$, $\gamma_{в.}$, $\gamma_{п.}$, $\gamma_{щ.}$ — плотность цемента, воды, песка и щебня.

4. Абсолютный объем пустот в щебне равен абсолютному объему растворной составляющей с некоторым избытком, т. е.

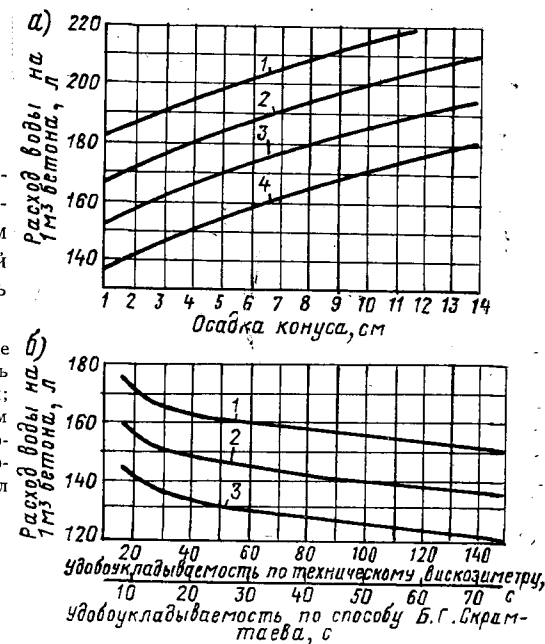
$$\frac{C}{\gamma_{ц.}} + \frac{B}{\gamma_{в.}} + \frac{P}{\gamma_{п.}} = \frac{Щ}{\gamma_{общ.}} U_{\alpha},$$

где $\gamma_{общ.}$ — объемная масса щебня; U — пустотность щебня в относительных величинах; α — коэффициент раздвижки зерен щебня, определяемый по графику для пластичных смесей (рис. 89). Для жестких бетонных смесей $\alpha = 1,05$ —1,10. Решая совместно третье и четвертое уравнения, получают формулы для определения расхода щебня и песка:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{U}{\gamma_{общ.}} \alpha + \frac{1}{\gamma_{щ.}}}; \quad P = \gamma_{п.} \left(1000 - \frac{C}{\gamma_{ц.}} - \frac{Щ}{\gamma_{щ.}} - B \right).$$

Рис. 88. Зависимость водопотребности бетонной смеси, изготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности (водопотребность 7%) и гравия:

а — подвижные смеси; б — жесткие смеси; 1 — наибольшая крупность гравия 10 мм; 2 — то же, 20 мм; 3 — то же, 40 мм; 4 — то же, 80 мм. С увеличением (уменьшением) водопотребности песка на 1% расход воды возрастает (уменьшается) на 5 л



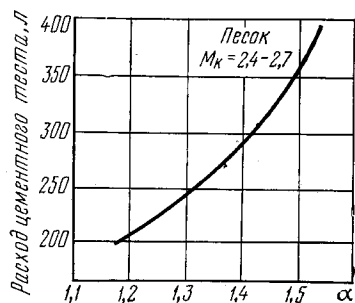


Рис. 89. Зависимость коэффициента раздвижки зерен щебня α от расхода цементного теста на 1 м³ бетона

Рассчитанный состав бетона проверяют экспериментальным путем, определяя в пробных замесах подвижность (удобоукладываемость) смеси, а также в установленные сроки прочность стандартных бетонных образцов, изготовленных из рассчитанной смеси.

В производственных условиях пользуются полевым составом бетона, в котором расход материалов на 1 м³ бетона дается с учетом их влажности. Принято также определять номинальный состав бетона — отношение массовых или объемных частей песка и щебня (гравия) к одной массовой или объемной единице цемента с указанием

ем водо-цементного отношения. Например, отношение цемент:песок:щебень = Ц:П:Щ = 1:2:4 при В/Ц = 0,6.

Хранение материалов. Материалы для бетона хранят на складах, обеспечивающих сохранение их качества. Цементы обычно хранят в складах — силосных, амбарных, бункерных; щебень и песок — в штабелях открытых или закрытых складов. Более прогрессивны закрытые склады для песка и щебня, оснащенные современными средствами автоматизации и механизации.

Объемы складов определяют нормативными запасами цемента, песка и щебня.

Нередко на складах организуют переработку материалов с целью повышения их качества или приведения его в соответствие с условиями работы бетонной конструкции и особенностями принятой технологии (например, домол цемента и введение в цементы молотых добавок), удаление примесей из песка и щебня путем промывки или грохочения, дробления крупных фракций щебня и др.

Приготовление бетонных смесей осуществляют на бетонных заводах, в состав которых входят склады материалов, бетоносмесительные установки и подсобные цехи. При сравнительно небольших объемах работ используют передвижные смесительные установки.

Преимущественное применение получили установки, работающие циклически (порционно), в которых отдельные порции бетонной смеси последовательно проходят все стадии дозирования, перемешивания и выгрузки. Подготовленные исходные материалы подают в бункера, откуда поступают в весовые (реже объемные) дозаторы для отвешивания необходимого количества каждого из материалов, которые составляют порцию (замес) бетонной смеси. Затем материалы одного замеса поступают в мешалку барабанного или лопастного типа, перемешиваются и после этого смесь поступает в транспортные средства. На крупных стройках обычно работают установки непрерывного действия — как наиболее производительные. Управление современными бетоносмесительными установками, как правило, автоматизировано.

Если строительный объект значительно удален от бетонного завода и смесь за время перевозки может утратить свои свойства, можно на заводе в дозировочной установке готовить сухую смесь из цемента, песка и щебня, которую затем перевезти к месту укладки, где и перемешать с водой в обычной бетономешалке. Иногда целесообразно дозирование воды и перемешивание смеси осуществить в пути в автобетономешалках.

Дозирование. Расход минеральных материалов на замес бетономешалки определяют по формуле

$$m = \beta \frac{MU_{\text{зам}}}{1000} (1 + W),$$

где $U_{\text{зам}}$ — объем бетономешалки, л; m, M — количество исходных минеральных материалов соответственно на один замес и на 1 м³ бетона (кг; W — влажность материалов в относительных величинах; β — коэффициент выхода бетонной смеси, вычисляемый по формуле

$$\beta = \frac{1000}{\frac{Щ}{\gamma_{\text{ощ}}} + \frac{П}{\gamma_{\text{оп}}} + \frac{Ц}{\gamma_{\text{оп}}}},$$

где $\gamma_{\text{ощ}}, \gamma_{\text{оп}}, \gamma_{\text{оц}}$ — объемная масса щебня, песка, цемента, кг/м³; $Щ, П, Ц$ — расход щебня, песка, цемента, 1 кг на 1 м³ бетона.

Коэффициент выхода бетона всегда меньше единицы вследствие заполнения пустот между крупными зернами более мелким материалом и равняется 0,60—0,65.

Расход воды на один замес определяют по формуле

$$v = \beta B \frac{U_{\text{зам}}}{1000} - W_{\text{щ}}Щ - W_{\text{п}}П,$$

где $v, П, Щ$ — расход воды, песка и щебня на замес бетономешалки, кг; B — расход воды на 1 м³ бетона; $W_{\text{щ}}, W_{\text{п}}$ — влажность щебня и песка в относительных величинах.

Цемент и воду дозируют только по массе с точностью $\pm 1\%$, а заполнители допускается дозировать и по объему с точностью $\pm 3\%$.

На современных бетонных заводах материалы дозируют с помощью автоматических весовых дозаторов циклического или непрерывного действия. Воду дозируют с учетом влажного песка и щебня.

При перемешивании бетонной смеси достигается равномерное распределение ее компонентов, смачивание зерен цемента, песка и щебня водой и равномерное обволакивание зерен песка и щебня цементным тестом. От степени смещения смеси зависят свойства бетона, в том числе и прочность (рис. 90). На качество перемешивания влияет соответствие свойств бетонной смеси и выбранного типа бетономешалки, а также длительность перемешивания, степень и порядок загрузки отвешенных материалов в бетономешалку.

Подвижные бетонные смеси на плотном щебне и песке хорошо перемешиваются в бетономешалках свободного перемешивания, представляющих собой вращающиеся барабаны, на внутренних

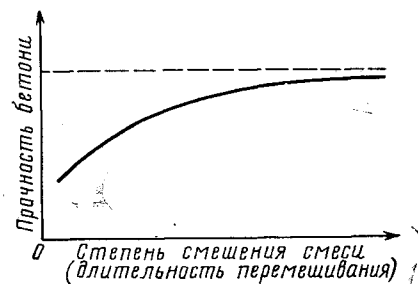


Рис. 90. Зависимость прочности бетона от длительности перемешивания смеси

стенках которых укреплены лопасти. Жесткие бетонные смеси следует перемешивать в бетономешалках принудительного действия (рис. 91), а также в вибромешалках. В ряде случаев целесообразно подвергать виброактивации раствор и цементное тесто.

В зависимости от свойств и состава бетонной смеси, типа бетономешалки и размеров смесительного барабана устанавливают оптимальное время перемешивания (табл. 36).

Таблица 36

Подвижность бетонной смеси	Емкость барабанного смесителя бетономешалки свободного перемешивания, л			
	< 425	< 1200	< 2400	< 4500
	Оптимальное время перемешивания, мин			
Осадка конуса более 5 см	< 1	1,0—1,5	2	3
Осадка конуса менее 5 см	1	2	3	4

Продолжительность перемешивания увеличивается с уменьшением крупности заполнителей. Если время перемешивания будет меньше оптимального на 10%, прочность бетона заметно снижается. При более длительном перемешивании качество бетона несколько улучшается, но уменьшается производительность бетономешалок. Бетономешалка должна загружаться строго в соответствии с емкостью барабана. Не допускается перемешивание смеси в большем объеме, чем это предусмотрено техническим паспортом бетономешалки.

Получение удовлетворительной смеси обеспечивает такой порядок дозирования: вначале вводят щебень и часть воды и после частичного перемешивания подают в бетономешалку цемент, остальное количество воды и песок. Растворимые в воде добавки подают вместе с водой.

При транспортировании бетонной смеси необходимо, чтобы она сохраняла свою однородность, при этом допускается снижение подвижности смеси до 30%. Смесь транспортируют автомобилями-самосвалами, вагонетками, бетононасосами, бадьями и др. В практике дорожного строительства бетонную смесь обычно перевозят автомобилями-самосвалами. Емкости транспортных средств должны быть чистыми и не допускать в процессе перевозки потерь раствора и це-

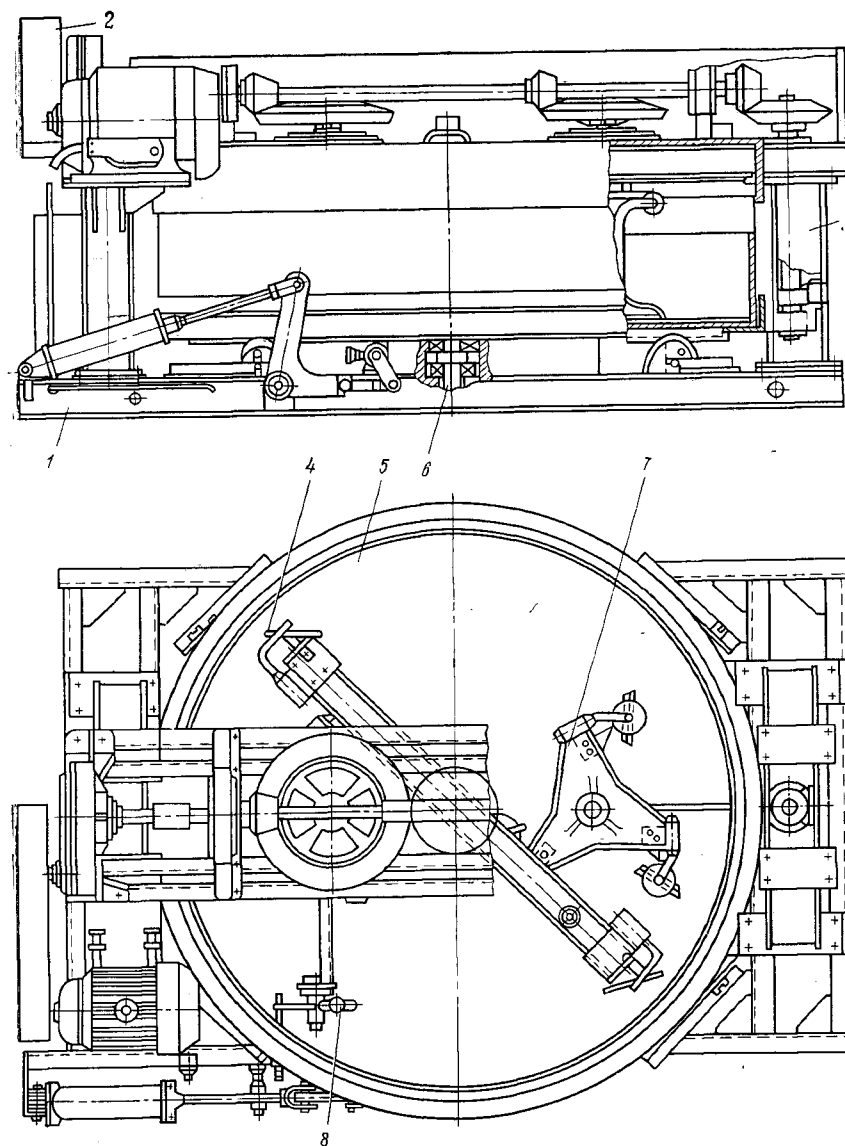


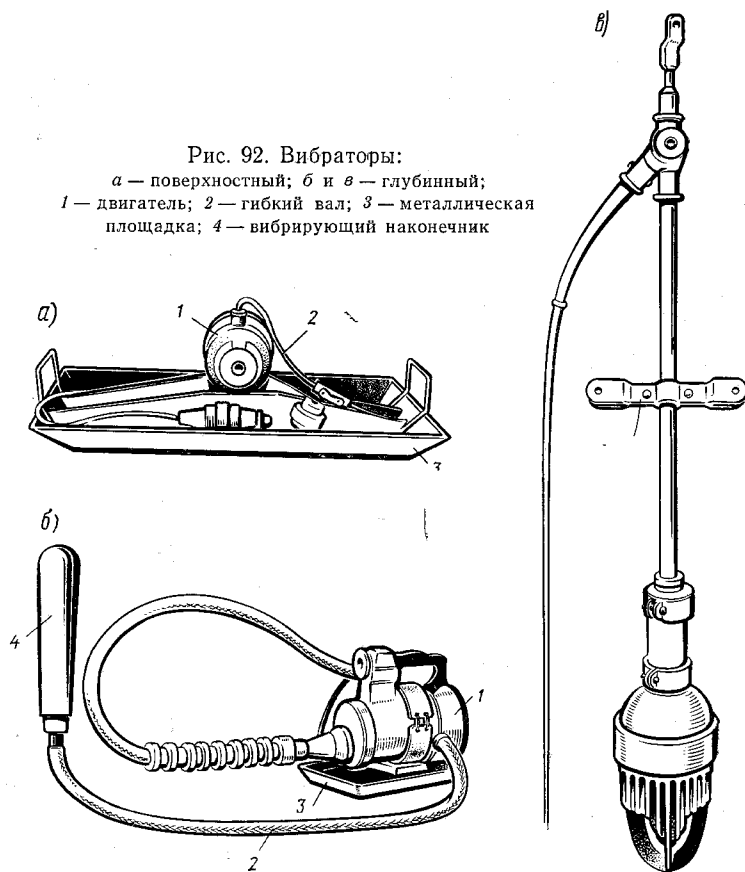
Рис. 91. Бетономешалка принудительного перемешивания:

1 — рама; 2 — привод; 3 — станина; 4 — неподвижные гребки; 5 — смесительная чаша; 6 — разгрузочное устройство; 7 — смесительные лопасти; 8 — очистной гребок

ментного молока. Продолжительность транспортирования смеси должна быть не более 30 мин при температуре 20—30° С, 60 мин при 10—20° С и 120 мин при 5—10° С.

Укладка и уплотнение бетонной смеси. Укладка бетонной смеси включает в себя операции распределения, уплотнения смеси и от-

Рис. 92. Вибраторы:
а — поверхностный; б и в — глубинный;
1 — двигатель; 2 — гибкий вал; 3 — металлическая
площадка; 4 — вибрирующий наконечник



делки поверхности покрытия. Перед укладкой смеси проверяют правильность установки опалубки и арматуры в ней. Бетонную смесь в опалубке распределяют, как правило, с помощью бетоноукладчиков с лотковыми (ленточными), бункерными или шнековыми распределителями.

В монолитных конструкциях подвижную бетонную смесь уплотняют способом вибрации. При вибрации (частота колебаний — 50—200 Гц, амплитуда — 0,1—0,8 мм) бетонная смесь тиксотропно разжижается и приобретает текучесть. Разжиженная бетонная смесь под действием силы тяжести легко заполняет формы, зерна щебня и песка в смеси располагаются наиболее плотно, а крупные пузырьки воздуха вытесняются из смеси наружу.

Для виброуплотнения применяют поверхностные и глубинные вибраторы. Поверхностный вибратор состоит из площадки и укрепленного на ней источника вибрации — двигателя с дебалансом на валу (рис. 92). Вибратор устанавливают на уплотняемую смесь и через площадку сообщаются ей колебания. Такие вибраторы ис-

пользуют для уплотнения бетонных плит, полов и т. п. Глубинные вибраторы (см. рис. 92) — вибробулавы, полностью погружаясь в бетонную смесь, передают колебательные движения во все стороны. Эти вибраторы применяют для уплотнения бетонной смеси армированных и неармированных конструкций, плит, фундаментов, балок и др.

Об эффективности виброуплотнения бетонной смеси судят по коэффициенту уплотнения — отношению фактической объемной массы уплотненной бетонной смеси к ее теоретической объемной массе. Коэффициент уплотнения обычно равен 0,95—0,98. О качестве уплотнения можно судить и по прочности вибрированного бетона, поскольку прочность — функция степени уплотнения бетонной смеси.

Режим виброуплотнения зависит от свойств бетонной смеси и в основном от ее удобоукладываемости, характеризуется интенсивностью, длительностью, а также характером и формой колебательных движений.

Интенсивность вибрирования определяют по формуле

$$I = 0,001 A^2 n^3 \text{ см}^2/\text{с}^3,$$

где A — амплитуда колебаний; n — частота колебаний.

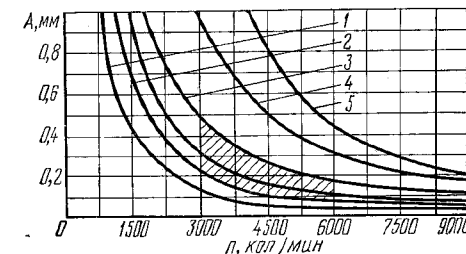
Чем более жесткие бетонные смеси с низким водо-цементным отношением, тем больше интенсивность вибрирования. Обычно ее величина колеблется от 30 до 2800 $\text{см}^2/\text{с}^3$ (рис. 93).

Для каждой бетонной смеси имеется оптимальная амплитуда и частота колебаний. С увеличением показателя удобоукладываемости, крупности зерен щебня, повышением их шероховатости, угловатости амплитуда колебания возрастает. Для бетонных смесей с предельной крупностью 40 мм и меньше она находится в пределах 0,3—0,6 мм, для мелкозернистых смесей уменьшается до 0,15 мм. Повышение амплитуды сверх указанных пределов может быть эффективно использовано лишь при создании дополнительного пригруза (до 25 $\text{гс}/\text{см}^2$) на поверхности уплотняемой смеси. Для обычных бетонных смесей частота вибрации находится в пределах 2800—6000 $\text{кол}/\text{мин}$. Повышение частоты целесообразно для мелкозернистых бетонных смесей. Высокочастотное вибрирование повышает производительность, поскольку ускоряет тиксотропное разжижение смесей и улучшает качество поверхности изделий.

Рис. 93. График для выбора различных значений амплитуды и частоты гармонических колебаний при заданной интенсивности вибрации:

1 — интенсивность колебаний $I = 30 \text{ см}^2/\text{с}^3$; 2 — $I = 80 \text{ см}^2/\text{с}^3$; 3 — $I = 300 \text{ см}^2/\text{с}^3$; 4 — $I = 1250 \text{ см}^2/\text{с}^3$; 5 — $I = 2800 \text{ см}^2/\text{с}^3$

Заштрихованная часть рисунка соответствует оптимальным режимам вибрирования



Для каждой бетонной смеси при принятых параметрах вибрирования устанавливают оптимальную продолжительность виброуплотнения. При недостаточной длительности вибрирования смесь может уплотниться не полностью, вследствие чего снижается качество бетона. Чрезмерно длительное уплотнение подвижных смесей с большим водосодержанием вызывает их расслоение. Виброуплотнение заканчивают, если бетонная смесь уже не оседает и образуется горизонтальная поверхность, на которой выступает цементное молоко.

Продолжительность уплотнения жестких бетонных смесей можно вычислить по формуле

$$t = 2V \sqrt{\frac{I_{ст}}{I}},$$

где V — удобоукладываемость смеси, с; $I_{ст}$ — интенсивность вибрации, при которой определялась V в лабораторных условиях; I — интенсивность вибрации в производственных условиях.

Виброуплотнение наиболее эффективно, если оно начато через некоторое время после приготовления бетонной смеси. Обычно это время колеблется в зависимости от температуры воздуха от 20 до 40 мин. Это необходимо учитывать при устройстве цементнобетонных покрытий. Излишняя выдержка бетонной смеси нежелательна, так как может привести к ухудшению ее технологических свойств. Целесообразно через некоторый промежуток времени (1—2 ч) повторить уплотнение бетонной смеси поверхностными вибраторами высокой частоты. При этом разрушается первоначально сложившаяся дефектная структура цементного камня, вследствие чего значительно уменьшаются внутренние напряжения и повышается прочность бетонов на 15—20%. Целесообразно применять разночастотное виброуплотнение, например сочетая частоты 1500 и 4500 кол/мин с амплитудами колебаний соответственно 1,0 и 0,4 мм. Полезно также применять последовательно два режима: вначале низкочастотный, воздействующий на жесткий скелет щебня, а затем высокочастотный — на уплотняющий раствор.

Наиболее благоприятное сочетание колебаний при одновременном действии низкой и высокой частоты имеет место, если соотношение между частотами равно трем. В этом случае угол сдвига фаз равен 180° , максимумы и минимумы составляющих колебаний совпадают, размах колебаний имеет максимальное значение. Возможно также использовать соотношение частот, равное двум.

Для увеличения степени уплотнения цементного камня в бетоне целесообразно пластичную бетонную смесь вакуумировать при помощи вакуумщитов или вакуум-опалубок, которые из уплотненной смеси извлекают воздух и избыточную воду. При вакуумировании повышается прочность и морозостойкость бетона, увеличивается его износостойкость и уменьшается усадка, а также ускоряется процесс твердения бетона в раннем возрасте. После вакуумобработки хорошие результаты дает повторное виброуплотнение поверхност-

Возраст бетона, сут	Величина относительной прочности бетона при температурах твердения, °С				
	5	10	15	25	30
3	0,15	0,20	0,30	0,37	0,45
5	0,25	0,32	0,45	0,54	0,60
7	0,35	0,44	0,60	0,70	0,72
15	0,55	0,65	0,80	0,85	0,85
28	0,80	0,92	1,00	1,05	1,10

ными вибраторами, что способствует устранению капилляров, образовавшихся при отсосе воздуха и воды из бетона.

Твердение бетона и уход за ним. Бетон набирает прочность постепенно по мере твердения цементного камня. Наибольшая скорость нарастания прочности бетона наблюдается в ранние периоды твердения и далее постепенно уменьшается. Скорость твердения бетона в значительной степени зависит от температуры среды (табл. 37 по данным проф. С. А. Миронова).

Прирост прочности бетона практически прекращается при температуре, близкой к нулю, и значительно ускоряется при повышенных температурах среды и максимальной влажности. Во влажной среде бетон приобретает значительно большую прочность, чем на воздухе. При испарении влаги из бетона его твердение практически прекращается.

Скорость нарастания прочности зависит от вида и минералогического состава цемента, причем она может быть значительно увеличена за счет введения в смесь добавок-ускорителей (например, хлористого кальция). Действие ускорителей твердения эффективно только в первый период твердения бетона.

Уход за бетоном включает комплекс мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия для твердения уложенной и уплотненной смеси (необходимая влажность и температура), а также способов, предохраняющих бетон от его повреждения в раннем возрасте. Уход за бетоном должен быть организован немедленно после укладки и уплотнения бетонной смеси. Уход за свежееуложенным бетоном обычно осуществляют путем покрытия его поверхности пленкообразующими веществами. Эти вещества образуют водонепроницаемую пленку, надежно защищающую поверхность бетона от испарения воды, гидрофобизируют и закупоривают поры поверхности бетона, что увеличивает долговечность бетонного покрытия. В качестве пленкообразующих веществ применяют битумные эмульсии или жидкие и разжиженные битумы (или дегти) и др. Распределение пленкообразующих материалов производится обычно в два приема. Первый слой наносят немедленно после окончательного уплотнения и отделки поверхности бетона.

До схватывания бетонную смесь рекомендуется в отдельных случаях укрывать передвижными щитами или полиэтиленовыми пленками.

Контроль качества. Хорошо организованный контроль качества бетонных работ — важнейшее условие получения бетонов и бетонных изделий заданных свойств, повышения их долговечности и снижения стоимости строительства. Контроль состоит в предварительном испытании материалов для бетона, периодической проверки качества бетонной смеси и бетона, повседневной проверке качества бетонных работ на всех этапах. При контроле качества исходных материалов и бетонов руководствуются действующими ГОСТами и техническими правилами.

В процессе приготовления бетонной смеси особое внимание следует уделять дозированию материалов в бетономешалку и особенно дозированию воды и цемента. Контроль содержания воды в смеси можно автоматизировать, используя зависимость потребляемой мощности бетономешалки от водо-цементного отношения: чем меньше водо-цементное отношение, тем больше потребляемая мощность.

Необходимо также систематически контролировать принятый режим перемешивания смеси (продолжительность перемешивания, степень заполнения и скорость вращения бетономешалки). Качество бетонной смеси контролируют путем определения ее подвижности, а иногда и состава, объемной массы в уплотненном состоянии и коэффициента выхода бетона. Особенно тщательно контролируют твердение бетона, в первую очередь, влажность и температуру. Если твердение бетонов проходит в неконтролируемых случайных условиях, то их свойства также случайны и, как правило, не соответствуют заданным требованиям.

Контроль прочности бетона осуществляют путем периодического отбора проб бетонной смеси данной серии замесов и изготовления из нее контрольных образцов кубов или балок, уплотняемых тем же способом, как и бетон в конструкциях, при этом образцы бетона должны твердеть в таких же условиях, что и бетонные конструкции. Испытывают образцы в возрасте 28 дней или другие установленные сроки. Иногда фактическую прочность бетона определяют по образцам, взятым из конструкций путем высверливания из них цилиндрических проб диаметром и высотой 10—20 см.

Результаты текущего контроля заносят в специальные лабораторные журналы.

§ 40. ЦЕМЕНТОБЕТОННЫЕ РАБОТЫ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА

Для нормального твердения бетонной смеси, уложенной в уплотненной в опалубке, необходимо обеспечить достаточное количество тепла и влажную среду. При понижении температуры ниже $+10^{\circ}\text{C}$ процесс твердения постепенно затухает, а при 0°C практически прекращается. Свободная вода, замерзая, увеличивается в объеме, что приводит к разрушению формирующихся структурных связей в

Виды дорожных покрытий	Марки бетона по пределу прочности, кгс/см ²	
	на растяжение при изгибе	при сжатии
Для однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий	40, 45, 50 и 55	300, 350, 400 и 500
Для нижнего слоя двухслойных покрытий и оснований	35, 40, 45	250, 300 и 350
Для оснований усовершенствованных капитальных покрытий	20, 25, 30 и 35	100, 150, 200 и 250

В соответствии с действующими стандартами на дорожный цементобетон выбор и назначение марок по показателю прочности бетона должен соответствовать следующим требованиям (табл. 40). Водущим показателем прочности дорожного цементобетона является значение предела прочности при изгибе.

Марка дорожного бетона по морозостойкости должна быть не ниже Мрз 100 (для районов с мягким климатом), Мрз 150 (для районов средней полосы СССР) и Мрз 200 (для северных районов СССР). Для устройства оснований разрешается применять бетон Мрз 50.

Морозостойкость бетона может быть существенно увеличена путем применения морозостойкого щебня и специального (дорожного) портландцемента и создания однородной плотной структуры при оптимальном расходе цемента и минимальном водо-цементном отношении, а также введением в смесь гидрофобных и воздуховулканизирующих добавок. Рекомендуется принимать водо-цементное отношение не более 0,5 для верхних слоев дорожных покрытий, 0,6 для нижних слоев двухслойных покрытий и не более 0,75 для устройства оснований под капитальные дорожные покрытия.

Для дорожного цементобетона важным показателем является его износостойкость, которая зависит от структуры и состава верхнего слоя дорожной плиты. Износ бетона увеличивается при использовании подвижных бетонных смесей с большим водо-цементным отношением, так как при уплотнении таких смесей на поверхности бетона образуется слой недостаточно прочного раствора. При твердении бетона в условиях низких температур и недостаточной влажности среды износостойкость его также снижается.

Подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси для дорожных покрытий должны соответствовать показателям, приведенным в табл. 41.

Исходные материалы для приготовления дорожного цементобетона должны быть высокого качества. Для приготовления дорожного бетона используют дорожный портландцемент, обычный, пластифицированный и гидрофобный. Марка цемента должна быть не менее 400, а для оснований не ниже 300. Цемент содержит молотого

Таблица 41

Способы уплотнения бетонной смеси в покрытиях	Осадка конуса, см	Показатель удобоукладываемости, с
Уплотнение и отделка покрытия бетоноукладочными машинами	1—2	15—20
Уплотнение и отделка покрытия площадочными вибраторами и виброрейками	2—3	10—15
Уплотнение оснований	—	40—50

гранулированного шлака не более 15%. Минералогический состав: содержание алита — 50—55%, белита — 20—25, алюмоферрита — 20—25, алюмината — не более 8%. Цементы такого минералогического состава позволяют получить бетон с высоким пределом прочности при изгибе, высокой выносливостью, деформативной способностью и морозостойкостью. Не разрешается применение шлакопортландцементов и пуццолановых портландцементов вследствие их пониженной морозостойкости.

Песок для дорожного цементобетона используется преимущественно природный крупно-, средне- и мелкозернистый. Иногда применяют искусственный песок, высевки, причем рекомендуется, чтобы щебень и песок были одного минералогического состава. Применение мелкозернистых и очень мелкозернистых песков возможно при условии добавок к ним высевок около 35%. Особое внимание необ-

Таблица 42

Назначение бетона	Механические свойства каменного материала	Показатели механических свойств щебня		
		из изверженных горных пород	из щебня осадочных горных пород	гравия
Однослойное покрытие и верхний слой двухслойных покрытий	Предел прочности при сжатии исходной горной породы в водонасыщенном состоянии, кгс/см ² , не менее	1200	800	—
	Истираемость в полочном барабане, % по массе, не более	25	40	30
Нижний слой двухслойного покрытия	Предел прочности при сжатии исходной горной породы в водонасыщенном состоянии, кгс/см ² , не менее	800	600	—
	Истираемость в полочном барабане, % по массе, не более	—	—	45

ходимо обращать на чистоту используемого песка; содержание пылевато-глинистых примесей не должно превышать 3%, содержание органических примесей не допускается. Щебень изготавливают из прочных пород, характеристика которых дана в табл. 42. Морозостойкость щебня должна быть не ниже марки по морозостойкости дорожных цементобетонов. Щебень применяют с оптимальным гранулометрическим составом, а предельная крупность зерен щебня принимается: 40 мм — для однослойного и нижнего слоя двухслойного покрытия и 20 мм — для верхнего слоя двухслойного покрытия.

Гравий в дорожном бетоне применяется только для нижних слоев покрытий. Содержание пылевато-глинистых примесей в щебне и гравии не должно превышать 1%. Для дорожного бетона целесообразно применять свежесобраный щебень, что обеспечивает получение бетона с высокой прочностью при изгибе и растяжении.

В дорожном строительстве бетонные смеси приготавливают обычно на инвентарных бетоносмесительных установках циклического действия типа С-243-2А (рис. 98) или на передвижных агрегатированных установках непрерывного действия типа С-543 (рис. 99). Производительность бетоносмесительных установок 100—200 м³ смеси в смену. Технологические процессы этих установок механизированы и автоматизированы.

Транспортирование бетонной смеси осуществляется автомобилями-самосвалами. Длительность транспортирования не должна превышать 30 мин при температуре воздуха больше 20°С и 1 ч при $t = 10-20^{\circ}\text{C}$.

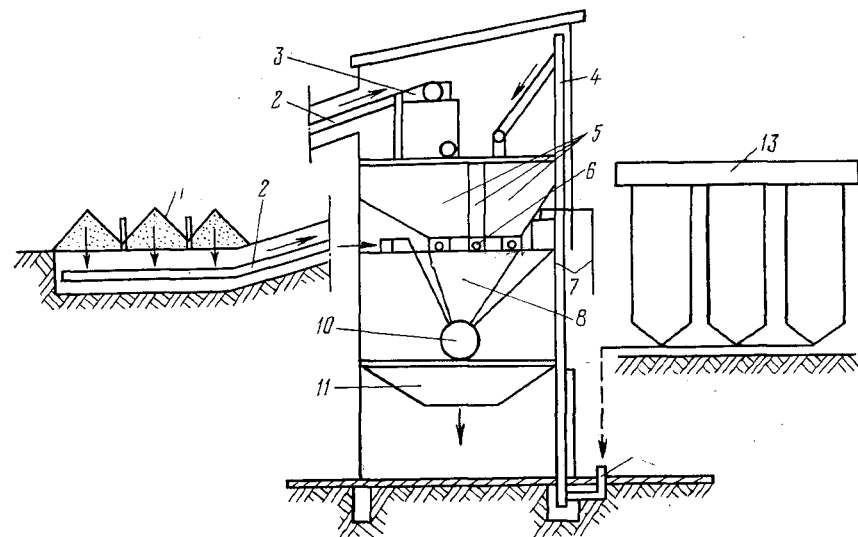


Рис. 98. Схема технологического процесса приготовления цементобетонной смеси на установках циклического действия:

1 — склад щебня и песка; 2 — транспортер; 3 — привод; 4 — элеватор для подачи цемента; 5 — бункера для материалов; 6 — дозаторы; 7 — подача и дозирование воды; 8 — приемная воронка; 9 — подача и дозирование химических добавок; 10 — мешалка циклического действия; 11 — раздаточный бункер; 12 — шнек или аэрожелоб; 13 — склад цемента

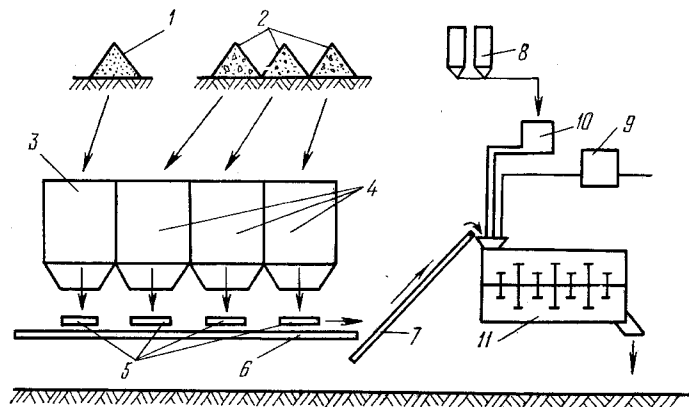


Рис. 99. Схема технологического процесса приготовления цементно-бетонной смеси на установках непрерывного действия:

1, 2 — склад щебня и песка; 3, 4 — бункера для песка и щебня; 5 — ленточные дозаторы; 6 — собирающий конвейер; 7 — транспортер; 8 — склад цемента; 9 — дозатор воды; 10 — дозатор цемента; 11 — мешалка непрерывного действия

Укладку, уплотнение, отделку и уход за бетоном обычно осуществляют с помощью комплекта бетоноукладочных машин, состоящего из бетоноукладчика Д-375, бетоноотделочной машины Д-376, машины для нарезки швов в бетонном покрытии. Бетоноукладчик распределяет смесь с учетом ее последующего уплотнения. Уплотнение смеси, отделку поверхности покрытия, придание необходимого поперечного профиля выполняет машина Д-376, основными рабочими органами которой являются вибрационно-уплотняющий брус и отделочный брус с вибродоской. Уплотнение смеси бетоноотделочная машина осуществляет за два-три прохода. За свежеложенной бетонной смесью организуется тщательный уход с целью обеспечения требуемого режима температуры и влажности твердения, чтобы уменьшить развитие усадочных трещин. Поверхность свежеложенной бетонной смеси покрывают пленкообразующими веществами (разжиженные битумы, эмульсии и др.). Эти пленки не препятствуют испарению воды из смеси и придают поверхности гидрофобные свойства, что повышает долговечность бетонных покрытий.

§ 42. ЛЕГКИЕ ЦЕМЕНТОБЕТОНЫ

Бетоны, обладающие малой объемной массой и малой теплопроводностью, называют легкими. Прочность их может быть от 25 до 200 кгс/см². Легкие бетоны применяют для устройства стен, перекрытий; они могут быть без арматуры и армированные. Легкие бетоны могут быть с пористыми заполнителями (объемная масса 1,0—1,8), крупнопористые (беспесчаные) с объемной массой 0,6—1,8 и особо легкие ячеистые бетоны — пено- и газобетоны с объемной массой менее 0,6.

Бетоны на пористом щебне и песке. В качестве заполнителей для этого вида бетонов изготавливают щебень из пористых горных пород (пемза, вулканические туфы, ракушечник и др.), искусственных материалов (керамзит, перлит, вермикулит и др.) и отходов промышленности (шлаковая пемза — термозит, пористые шлаки и др.). Объемная масса этих заполнителей 0,3—1,0 и прочность при сжатии 10—200 кгс/см².

Прочность легких бетонов лимитируется прочностью щебня (рис. 100), поэтому в этих бетонах имеет место недостаточно эффективное использование цемента. В бетонных смесях на пористом щебне большая часть воды отсасывается в поры щебня, поэтому они малоподвижны, что, в свою очередь, вызывает увеличение расхода цемента на 1 м³ бетона. С увеличением расхода возрастают объемная масса и теплопроводность бетонов, что нежелательно. В связи с этим легкие бетоны целесообразно готовить из жестких бетонных смесей, в состав которых входят легкий щебень повышенного качества (керамзит, термозит) с оптимальным гранулометрическим составом и минимальной пустотностью, а также цементы высоких марок:

Марка легкого бетона	<35	<50—75	100—150	≥200
Марка цемента	200—300	300	400—500	≥500

Важным условием технологии легкого бетона является установление оптимального расхода воды, который находят по наибольшей прочности, для чего испытывают несколько (три — пять) серий бетонных образцов с разным содержанием воды (рис. 101). В первом случае бетонную смесь трудно уплотнить, а во втором бетонная смесь расслаивается. Введение небольших добавок поверхностно-активных веществ повышает связность бетонной смеси на легком щебне и расширяет границы оптимального водосодержания.

Бетонную смесь на легком щебне готовят аналогично тяжелым смесям, но легкие бетонные смеси перемешивают более тщательно, обычно в бетономешалках принудительного действия. При виброуплотнении бетонных смесей на легком щебне применяют пригруз,

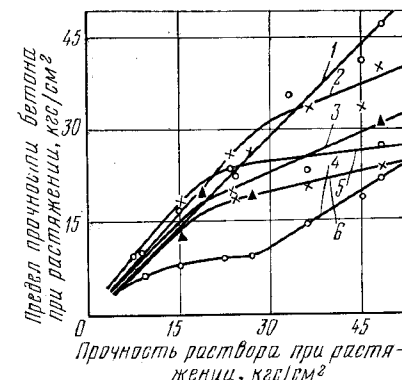


Рис. 100. Зависимость прочности бетона от прочности раствора и заполнителя:

1 — прочность щебня при растяжении $R_3 = 88$ кгс/см²; 2 — то же, $R_3 = 44$ кгс/см²; 3 — то же, $R_3 = 26$ кгс/см²; 4 — то же, $R_3 = 5$ кгс/см²; 5 — то же, $R_3 = 40$ кгс/см²; 6 — то же, $R_3 = 12$ кгс/см²

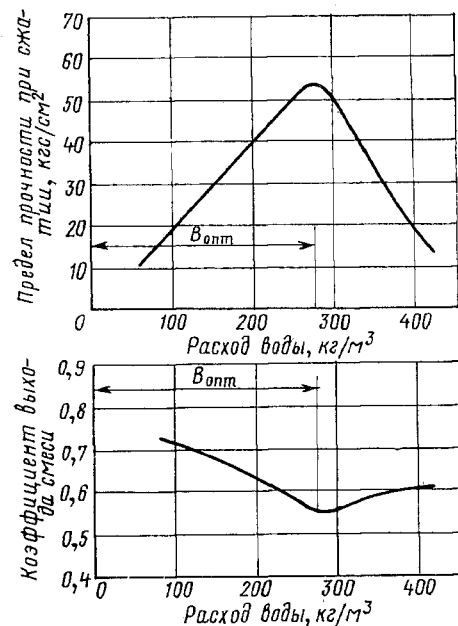


Рис. 101. Зависимость прочности легкого бетона и коэффициента выхода смеси от расхода воды

активности цемента, от объема и характера пор; чем меньше поры при равном их объеме, тем ниже теплопроводность, чем больше открытых пор, тем больше водопоглощаемость и ниже морозостойкость. Марки ячеистых бетонов по прочности: 25, 50, 75, 100, 150. Зависимость между объемной массой ячеистых бетонов и их теплопроводностью приведена в табл. 43. Разновидностями ячеистых бетонов являются *пенобетон* и *газобетон*.

Таблица 43

Объемная масса, кг/м³	Коэффициент теплопроводности	Объемная масса, кг/м³	Коэффициент теплопроводности
400	0,08	800	0,160
500	0,095	1000	0,210
600	0,125	1200	0,275

Пенобетон изготавливают смешением устойчивой пены с цементом (портландцементом, шлакопортландцементом, пуццолановым портландцементом и др.) в специальных мешалках. В состав пенобетона вводят мелкозернистый и молотый песок. Пену получа-

препятствующий их расслоению вследствие малой объемной массы зерен щебня. Чем меньше объемная масса щебня, тем больше должен быть пригруз.

Крупнопористый бетон изготавливают из смесей без песчаной составляющей, вследствие чего они имеют крупнопористую структуру, малую объемную массу и пониженный коэффициент теплопроводности. Для изготовления крупнопористого бетона желательно применять щебень крупностью 10—20 мм или рядовой от 5 до 40 мм при соотношении цемента к щебню от 1:6 до 1:15. Этот вид бетона применяют для возведения монолитных и сборных стен зданий.

Ячеистые бетоны характеризуются большим количеством замкнутых пор; в них отсутствует щебень. Свойства ячеистых бетонов зависят от

ют взбиванием жидкой смеси канифольного мыла, животного клея или водного раствора сапонины (вытяжка из растительного мыльного корня). Хорошим пенообразователем является препарат ГК (гидролизная кровь).

Газобетон изготавливают смешением вяжущего (портландцемента, шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента, извести до 10% от массы цемента), молотого кварцевого песка с газообразователем, например, с порошкообразным алюминием, который вступает во взаимодействие с гидратом окиси кальция, вследствие чего образуется гидросульфат алюмината и водород. Такую смесь жидкой консистенции заливают в формы, где она и затвердевает; твердение ячеистых бетонов может осуществляться в естественных условиях, пропарочных камерах и в автоклавах.

§ 43. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТОБЕТОНЫ

Гидротехнический бетон применяют для устройства гидротехнических и подземных сооружений, дорожных труб, в мостостроении. Бетон для этих целей должен быть плотным, устойчивым против воздействия проточных вод, а в ряде случаев и агрессивной среды. В соответствии с этим для приготовления таких бетонов применяют пуццолановый и шлакопортландцемент, портландцементы с умеренной экзотермией, а в необходимых случаях и сульфатостойкий цемент в количестве не менее 200 кг на 1 м³. Добавки тонкомолотых кварцевых песков, доменного гранулированного шлака повышают устойчивость бетона, снижают выделение тепла при твердении и усадку.

Для улучшения технологических свойств бетонной смеси и, в первую очередь, водопотребности в бетонную смесь вводят пластифицирующие добавки.

Гидротехнический бетон делят на марки по прочности: 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500; по морозостойкости Мрз 50 — Мрз 300, по водонепроницаемости: В-2, В-4, В-6, В-8. Марки гидротехнического бетона определяют в 180-дневном возрасте.

Жароупорный бетон применяют для устройства элементов сооружений, подвергающихся действию высоких температур (дымовые трубы, футеровка печей и пр.). В качестве вяжущих для жароупорных бетонов применяют глиноземистый, а при температурах до 1200°С и портландцемент с тонкомолотыми добавками шамота, вулканических пород, кварца. Эти добавки связывают свободную известь, которая выделяется при разложении гидросиликатов кальция в условиях высоких температур. Свободная известь опасна тем, что, реагируя с водой, увеличивается в объеме и разрушает бетон. В качестве щебня служат дробленые материалы из металлургических шлаков, огнеупорного шамотного кирпича и др. Предел прочности при сжатии от 75 до 250 кгс/см², водопоглощение 10—20%, объемная масса 1700—2000 кг/м³.

Цветные бетоны получают путем введения в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов до 8—10% от массы цемента (охры, умбры, сурика и др.) или применяют цветные цементы.

Цветные бетоны применяют для декоративных целей в строительстве зданий, для строительства переходных дорожек, разделительных полос на дорожных покрытиях.

Особо тяжелые бетоны для защиты от радиоактивных лучей (гамма-лучей, нейтронного излучения) изготавливают с введением в состав щебня из барита, железной руды, лимонита, обрезков арматурного железа, металлической стружки и др.

Для приготовления тяжелых (или гидратных) бетонов применяют в качестве вяжущего портландцементы с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината и сульфата кальция с добавками трепела, диатомита (для предупреждения от самопроизвольного разрушения). Реже применяют глиноземистый, а в необходимых случаях расширяющийся и безусадочный цементы. Прочность и долговечность особо тяжелых бетонов (гидратных) такие же, как и обычных бетонов.

Кислотоупорный бетон приготавливают из смеси кислотостойких материалов (кварцитового щебня, кварцевого песка и молотого кремнийземистого материала), затворенных на жидком стекле, с добавкой 10—15% кремнийфтористого натрия. Ориентировочный состав кислотоупорного бетона: щебень — 2 части, песок — 1, пылеватый наполнитель — 1, жидкое стекло 0,7—1 частей и кремнийфтористый натрий 10—15% от жидкого стекла. Твердение бетонной смеси должно протекать в сухой и теплой среде, прочность этого бетона достигает до 150 кгс/см².

Кислотоупорный бетон применяют для устройства элементов конструкций, подвергающихся воздействию кислот (за исключением плавиковой).

Пробужденный бетон приготавливают путем обработки шлакового щебня с активаторами и небольшим количеством воды на тяжелых бегунах. Такая смесь, уложенная в опалубку и уплотненная, затвердевает во влажной среде.

Для приготовления бетона применяют отвалы и гранулированные доменные шлаки, топливные шлаки и горелые породы терриконов угольных шахт.

В качестве активаторов пробуждения используют цементы, известь, гипс и др. Для ускорения твердения в отдельных случаях добавляют хлористый кальций.

Кусковой материал вначале дробят до крупности 3—5 см, вводят малую дозу активатора, добавляют небольшое количество воды (7—25%) и обрабатывают смесь в течение 10—30 мин на тяжелых бегунах; при этом смесь измельчается, растирается и перемешивается до состояния сравнительно однородной массы, которая в конце операции комкуется и не прилипает к дискам бегунов. До укладки в опалубку подготовленную смесь выдерживают в течение 3—5 ч во влажной среде.

Предел прочности при сжатии пробужденных бетонов, твердеющих в нормальных условиях тепла и влаги, на доменных шлаках 100—200 кгс/см², на топочных шлаках и горелых породах 25—50 кгс/см².

Строительные растворы

§ 44. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Строительными растворами называют рационально составленные смеси из вяжущего (цемента, гипса, извести и др.), песка, воды и добавок. По составу и свойствам строительные растворы подобны бетонам, однако в их составе отсутствует щебень, они характеризуются большей пористостью, повышенным расходом воды и обычно высоким водо-цементным отношением.

В зависимости от назначения строительные растворы разделяют на:

кладочные — для кладки стен, столбов, фундаментов, сводов, в качестве материала, скрепляющего отдельные кирпичи, бутовые камни и блоки в монолит;

штукатурные — для штукатурки (придания ровной поверхности) внутренних и внешних поверхностей конструктивных элементов сооружений;

растворы для изготовления блоков, панелей, плит, а также для устройства полов;

специальные — теплоизоляционные, гидроизоляционные, акустические, декоративные и др.

По роду вяжущего строительные растворы бывают: *цементные, гипсовые, известковые*; *простые* — при использовании одного вида вяжущего материала и *сложные* — двух и более.

По условиям твердения различают: *гидравлические растворы* (на цементах) и *воздушные растворы* (на извести, гипсе, растворе в стекле).

Для придания необходимых свойств в них вводят различные добавки: пластифицирующие, гидрофобизирующие, наполнители, пигменты и др.

§ 45. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ

Качество свежеприготовленных строительных растворов определяется подвижностью, расслаиваемостью, водоудерживающей способностью и объемной массой.

Подвижностью растворной смеси называют ее способность растекаться под действием собственной массы или приложенных к ней внешних сил. Подвижность определяется с помощью стандартного прибора — конуса СтройЦНИИЛа (рис. 102) — по глубине свободного погружения конуса в растворную смесь. Степень подвижности выбирают в зависимости от условий применения смеси, которая зависит от состава и свойств исходных материалов и возрастает с увеличением расхода воды в смеси. Однако содержание воды в смеси не должно превышать определенного предела, выше которого происходит расслаивание растворной смеси.

Расслаиваемость растворной смеси характеризуется ее неоднородностью по толщине слоя, образующейся при хранении или виб-

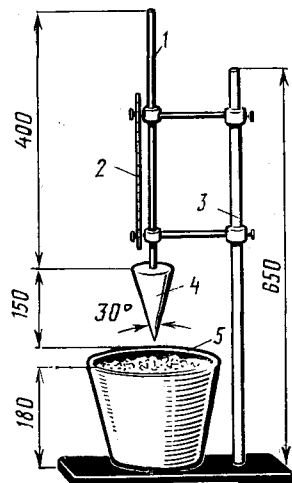


Рис. 102. Конус для определения подвижности строительных растворов:

1 — подвижной стержень с конусом 4; 2 — линейка с делениями; 3 — штатив; 5 — сосуд с раствором

1:3—1:4. Однако стоимость этих растворов велика, поэтому применяют более тощие растворы. Чтобы повысить водоудерживающую способность, уменьшить расслаиваемость тощих растворных смесей, в них вводят тонкоизмельченные добавки (золу, шлак, трепел и др.), а также известковое и глиняное тесто. Удобоукладываемость растворных смесей можно значительно улучшить путем введения в них поверхностно-активных веществ в количестве 0,1—0,3% от массы цемента. Количество добавки-пластификатора ориентировочно можно определить по графикам (рис. 103).

Прочность затвердевшего раствора оценивают его маркой, которая определяется прочностью при сжатии в 28-дневном возрасте образцов-кубиков с размером 7,07 см или балочек 4×4×16 см, изготовленных из раствора рабочей подвижности и выдержанных на пористом основании (на поверхности сухого кирпи-

рировании смеси. Неоднородность смеси определяют по разности объемов погруженного конуса СтройЦНИИЛа в образцы уплотненной в сосуде вибрированием растворной смеси, взятой из верхней и нижней части сосуда.

Расслаиваемость растворных смесей в значительной мере определяется их водоудерживающей способностью, характеризуемой количеством воды, которая прочно удерживается поверхностью минеральных зерен. Смесь становится малоподвижной в том случае, когда вода легко отделяется от нее. Это снижает производительность труда, ухудшает качество раствора, уменьшает степень сцепления раствора с основанием.

Водоудерживающую способность оценивают разницей в прочности стандартных образцов, выдержанных на пористом и плотном основании. Хорошей удобоукладываемостью (удовлетворительные показатели подвижности, расслаиваемости и водоудерживающей способности) обладают цементные растворы состава

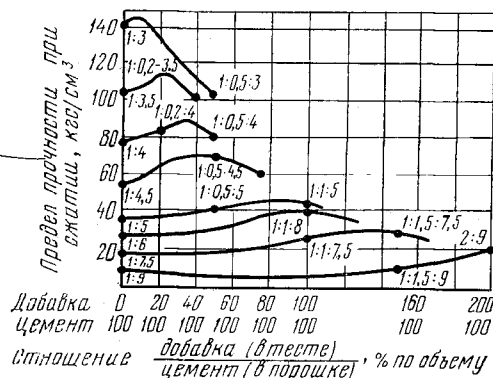


Рис. 103. Влияние добавок (глины, извести) на прочность растворов

ча). Для растворов установлено девять марок: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300.

Прочность затвердевшего раствора в основном зависит от тех же факторов, что и прочность бетонов (активности вяжущего, его количества, водо-вяжущего отношения, объемной массы и условий твердения).

При отсутствии отсоса воды пористым основанием прочность цементного раствора в возрасте 28 сут можно определить по эмпирической зависимости, предложенной проф. Н. А. Поповым:

$$R_{\text{раст}} = 0,25 R_{\text{ц}} \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right),$$

где $R_{\text{раст}}$ — прочность раствора, кгс/см²; $R_{\text{ц}}$ — активность цемента; $\frac{Ц}{В}$ — цементно-водное отношение.

Если растворы твердеют на пористом основании, то их прочность увеличивается примерно в 1,5 раза. Для смешанных растворов их прочность в аналогичных условиях может быть определена по формуле

$$R_{\text{раст}} = 0,25 \frac{R_{\text{ц}}}{1 + K_1 \frac{Д}{Ц}} \left(\frac{Ц + Д}{В} - 0,4 \right),$$

где $\frac{Д}{Ц}$ — отношение добавки к цементу по массе; K_1 — коэффициент для различных добавок составляет 1,3—2,0.

При укладке раствора на пористое основание основным фактором прочности является относительное содержание вяжущего материала. В соответствии с этим для цементных растворов ориентировочно прочность можно определить по формуле

$$R_{\text{раст}} = K R_{\text{ц}} (Ц - 0,05) + 4,$$

где $Ц$ — расход цемента на 1 м³ песка, т; k — коэффициент, равный 0,8 для среднезернистого песка и 0,5—0,7 для мелкозернистого.

Морозостойкость растворов зависит от свойств вяжущего, водо-вяжущего отношения, условий твердения растворов. Установлено девять марок раствора по морозостойкости от 10 до 300. Определяют морозостойкость на тех же образцах, что и прочность растворов.

§ 46. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

В растворах используют портландцементы, пуццолановые и шлакопортландцементы невысокой активности. Экономичные составы растворов получаются, если $\frac{R_{\text{ц}}}{R_{\text{раст}}} = 3,5—4,0$. С целью экономии гидравлических вяжущих и улучшения технологических свойств растворных смесей применяют смешанные вяжущие (цемент и известь, цемент и глину и др.).

Известь для строительных растворов применяют в виде молотого (негашеного) порошка или известкового теста. Можно применять жирную и тощую известь.

Гипс используют главным образом в штукатурных растворах как добавку к извести. В кладочных растворах гипс применяется редко.

Пески. В растворах обычно применяются природные (тяжелые) пески — кварцевые, полевошпатные и искусственные (легкие) пески из туфа, пемзы, шлака и др.

Для высоких марок растворов (больше 100) пески должны удовлетворять тем же требованиям в отношении содержания вредных примесей, что и пески для бетона. Для растворов марок 50 и менее допускается применение песков с содержанием до 10% пылеватых и глинистых частиц, но без органических примесей.

Крупность песков выбирают в зависимости от толщины шва в кладке. Крупнозернистые пески с предельной крупностью 5 мм применяют только при бутовой кладке. Для кладки кирпича и других камней применяют пески с предельной крупностью менее 2 мм.

Добавки. Для улучшения удобоукладываемости растворных смесей в них вводят различные пластифицирующие добавки. В качестве такой добавки в цементных и известковых растворах может быть эффективно использована глина. Содержание глины в растворе не должно превышать содержания вяжущего. Глину в раствор вводят в виде глиняного молока или (что хуже) тонкомолотого порошка. Глина как пластифицирующая добавка не должна содержать органических примесей и легкорастворимых солей. В растворы могут быть введены тонкомолотые гидравлические добавки трепела, вулканического пепла и др.

Для улучшения технологических свойств в растворные смеси вводят поверхностно-активные вещества, например, сульфитно-спиртовую бражку (0,1—0,3% от массы вяжущего, омыленный древесный пек, мылонафт и др.). Эти добавки улучшают также морозостойкость, уменьшают водопоглощение и усадку растворов. При использовании растворов в зимних условиях в них вводят ускорители твердения и понизители температуры замерзания (хлористый кальций и хлористый натрий), а также материалы, выделяющие тепло (хлорная известь, известь-кипелка, поташ).

§ 47. РАСТВОРЫ ДЛЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Подвижность кладочных растворов выбирают в зависимости от вида кладки, свойств основания (каменя), условий уплотнения и температуры воздуха (табл. 44).

В условиях влажной и агрессивной среды, а также если требуется высокая прочность раствора применяют гидравлические растворы, в которых используются цементы средней и низкой активности и различные добавки-пластификаторы. При постоянном и переменном увлажнении конструкций в растворы вводят гидрофобные поверхностно-активные добавки.

Известковые растворы используются для каменных кладок с небольшой прочностью, не подверженных увлажнению и температуре более 70°С. Прочность этих растворов при сжатии составляет около 2—4 кгс/см². Для повышения прочности и водостойкости в известко-

Вид кладки	Подвижность раствора, определяемая погружением конуса, см	
	при пористом основании или в жаркую погоду	при плотном основании или в холодную погоду
Кирпичная кладка	8—12	6—8
Шлакоблочная кладка	7—10	5—7
Бутовая кладка с уплотнением вручную	4—6	3—5
Бутовая кладка с уплотнением вибраторами	2—3	1—2

вые растворы вводят добавки цемента. В известковых растворах экономичнее применение известкового теста, чем извести-пушонки вследствие ее более грубой дисперсности.

Марку растворов для кладки устанавливают проектом. При этом обычно руководствуются положениями СНиПа (табл. 45).

Составы растворов низких марок (до 50) обычно выбирают по специальным таблицам (например, табл. 46).

Количество воды в растворах устанавливается опытным путем в зависимости от необходимой подвижности.

Составы растворов высоких марок рассчитывают с последующей проверкой их опытным путем. Расчет ведется следующим образом:

1. Ориентировочно расход цемента на 1 м³ песка определяют по формуле

$$Ц = \frac{R_{\text{раст}}}{KR_{\text{ц}}} 1000,$$

где $Ц$ — расход цемента на 1 м³ песка; $R_{\text{раст}}$, $R_{\text{ц}}$ — соответственно прочность раствора и активность цемента; K — коэффициент, определяемый по табл. 47.

2. Если введение известкового или глиняного теста допустимо, его содержание подсчитывают по формуле

$$Д = 170 / (1 - 0,002 Ц / \gamma_m),$$

где $Д$ — добавка теста, кг/м³; γ_m — объемная масса теста.

3. Количество воды подбирают по заданной подвижности смеси, начиная с наименьшего водовязущего отношения (0,8—0,9) с постепенным увеличением воды порциями по 5% от первоначально принятого количества.

Таблица 45

Назначение раствора	Рекомендуемая марка растворов
Кладка наружных стен зданий при относительной влажности воздуха менее 60%	4—25
То же, при влажности более 60%	25—50
Кладка столбов, простенков, карнизов	25—100
Изготовление крупных блоков из кирпича и других камней	>25
Расшивка швов в стенах из крупных блоков и панелей	50

Таблица 46

Виды марки цемента	Состав раствора: цемент + добавка извести или глины + песок (по объему) для марок:		
	10	25	50
Портландцемент: марки 200 » 300	1:1,5:10—12 1:2:13—16	1:0,8:6,5 1:1,5:10—12	1:0,2:3,5 1:0,8:6,5
Портландцемент (с добавкой гидрофобного пластификатора): марки 200 » 300	1:0,6:6—7 1:0:8—9	1:0:5 1:0:6—7	1:0:3 1:0:5

§ 48. РАСТВОРЫ ДЛЯ ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ

К штукатурным растворам предъявляют требования по их удобоукладываемости, прилипанию растворной смеси и сцеплению затвердевшего раствора с основанием. При твердении растворов в них не должны появляться усадочные трещины. Прочность штукатурных растворов незначительна (2—4 кгс/см²), так как они не являются несущими. В отдельных случаях к штукатурным растворам предъявляют требования повышенной плотности, водонепроницаемости и водостойкости.

Штукатурные растворы применяют с повышенной подвижностью, так как их наносят тонким слоем на пористое основание. Для подготовительного слоя (набрызга) подвижность смеси должна составлять 11—13 см, для основного слоя (грунта) — 7—8 см. Отделочный слой (накрывка) устраивают из смеси с подвижностью 7—10 см.

Штукатурные растворы приготавливают из тех же материалов, что и растворы для каменной кладки, но более высокого качества. Известь должна быть хорошо очищена от непогасившихся зерен. Гипс просеивают сквозь сито с отверстиями 1,2 мм. Песок должен быть чистым, его предельная крупность зерен не должна превышать 1—2 мм.

Наружные и внутренние кирпичные и каменные стены оштукатуривают известковыми растворами (для подготовительных слоев состав 1:3, а для отделочных слоев — 1:2). Известковые растворы обладают хорошим сцеплением с кирпичом, достаточной долговечностью и малой изменчивостью объема. Для оштукатуривания поверхностей сооружений, подвергающихся систематическому увлажнению, применяют цементно-известковые растворы с добавкой гидрофобных пластификаторов. Для этой цели применяют растворы следующего состава:

Таблица 47

Песок	Значение коэффициента К
Крупнозернистый	1,3—1,6
Среднезернистый	1,0—1,3
Мелкозернистый	0,8—1,0

1:1:6 или 1:1:5 — для наружных штукатурок и 1:2:9 — для внутренних.

Для внутренних штукатурок сухих стен зданий используют известковые, а для оштукатуривания потолков и деревянных стен известково-гипсовые. Количество гипса в этих растворах составляет 0,2—1 объемную часть на одну объемную часть известкового теста.

Водонепроницаемые штукатурные растворы используют для защиты сооружений от постоянного воздействия влаги (опоры мостов, стены каналов и др.). Для этой цели применяют цементные растворы состава 1:2—1:3 на шлаковых и пуццолановых цементах с гидрофобными добавками. Водонепроницаемость растворов может быть увеличена за счет нанесения их на основания торкретированием. Раствор наносят цемент-пушкой, выбрасывающей сжатым воздухом сухую смесь цемента и песка под давлением 2—3 атм со скоростью 80—100 м/с. Смесь при выходе из наконечника увлажняется водой. Такой штукатурный слой выдерживает давление воды до 20 кгс/см², прочно соединяется с поверхностью бетона и имеет повышенную прочность (300—500 кгс/см²), однако в этом случае теряется до 30—50% исходных материалов.

§ 49. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Растворы для заполнения швов между элементами железобетонных изделий характеризуются подвижностью 7—8 см, маркой 100 и выше. Их изготавливают из портландцементов высоких марок и кварцевых песков. Состав таких растворов 1:3—1:4. Еще более прочными (не менее 300) изготавливают инъекционные растворы для заполнения каналов в предварительно напряженных конструкциях. Цемент для таких растворов применяют марки 400 и выше, а расход цемента составляет более 1000 кг на 1 м³.

Растворы для полов подразделяют на цементно-песчаные, металлоцементные, цементно-опилочные и полимерцементные цементно-песчаные растворы. Они характеризуются повышенной маркой (более 100) и подвижностью (10—13 см). Их используют для стяжки поверхности полов, а также для устройства полов из брусчатки, клинкерного кирпича, бетонных и керамических плиток и т. д.

Металлоцементные растворы изготавливают из обезжиренной металлической стружки крупностью до 3 мм, цемента, песка, воды. Марка металлорастворов — 300—500, подвижность 1—3 см, они хорошо сопротивляются истиранию. Цементно-опилочные растворы состоят из портландцемента, песка, древесных опилок и воды, их применяют для устройства оснований под полы.

Гидроизоляционные растворы характеризуются высокой маркой (300 и выше) и составами 1:2—1:3. Их изготавливают из сульфатостойких портландцементов, пуццолановых портландцементов высоких марок, крупно-, среднезернистых кварцевых или искусственных песков. Часто их наносят на изолируемые поверхности торкретированием. В эти растворы иногда вводят полимерные или битумные эмульсии.

Тампонажные растворы используют для закрепления и гидроизоляции нефтяных, газовых и других скважин. Они характеризуются маркой 20—100, высокой подвижностью, позволяющей их нагнетать в скважины (подвижность более 12 см). Изготавливают эти растворы из тампонажных и сульфатостойких портландцементов, шлакопортландцементов, пуццолановых портландцементов и кварцевых песков. В ряде случаев для повышения водонепроницаемости растворов в них вводят суглинки в виде суспензии. Для тампонажных растворов характерны высокие водо-цементные отношения ($\frac{В}{Ц} = 0,5—1,5$), составы 1:1—1:3. В эти растворы обычно вводят поверхностно-активные вещества, добавки-ускорители твердения.

§ 50. ПРИГОТОВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Приготовление растворов включает в себя операции подготовки исходных материалов, их дозирование и смешение. Подготовка материалов необходима для того, чтобы не допустить в раствор неоднородных и засоренных вредными примесями материалов, а также получить песок необходимой крупности и влажности. Песок для тяжелых растворов предварительно просеивают сквозь сито с от-

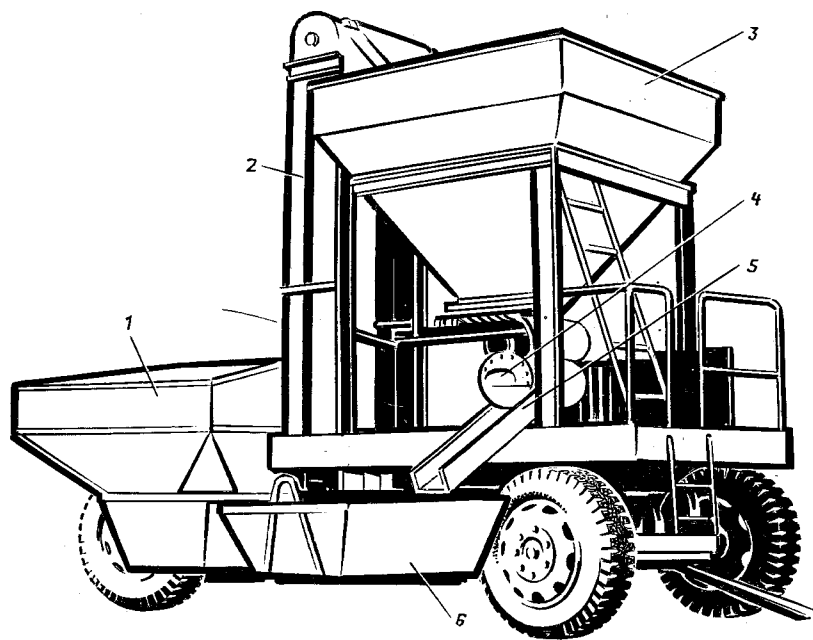


Рис. 104. Передвижная растворосмесительная установка непрерывного действия:

1 — бункер; 2 — элеватор; 3 — питательный бункер; 4 — растворомешалка; 5 — лоток; 6 — накопительный бункер

верстиями 20 мм. Шлаковые и пемзовые пески предварительно измельчают и просеивают.

Известковое тесто должно содержать 60—65% воды, для чего его разбавляют водой. Если в раствор вводят глину, то предварительно готовят глиняное тесто с подвижностью 14—15 см. Материалы обычно дозируют по объему, а цемент — по массе.

Дозированные материалы смешивают в растворомешалках емкостью 150, 375 и 750 л, снабженных вращающимися лопастями. При использовании обычных кварцевых песков продолжительность перемешивания раствора 1—2 мин, а в случае применения легких песков — 2,5—3,0 мин. При введении в растворы тонкомолотых материалов продолжительность перемешивания растворов увеличивается до 3—4 мин.

В настоящее время растворы (кладочные и штукатурные) обычно приготавливают централизованно на заводах или передвижных растворосмесительных установках (рис. 104). В этом случае эти растворы (товарные) поступают на стройку в виде сухих смесей или готовых растворов определенной консистенции, марки и качества.

Готовые штукатурные растворы перевозят в специально оборудованных автомобилях-самосвалах. На строительных объектах раствор транспортируют с помощью растворонасосов.

Контроль качества при приготовлении растворов заключается в проверке качества исходных материалов, их дозирования, времени перемешивания, определении удобоукладываемости растворной смеси, марки раствора.

ГЛАВА VII

Сборные бетонные и железобетонные изделия

§ 51. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

Железобетоном называют строительный материал, в котором рационально сочетается совместная работа цементобетона и стальной арматуры.

Недостатком цементобетона является его низкая прочность при растяжении, которая составляет обычно меньше 10% прочности при сжатии. Вследствие этого бетон нецелесообразно использовать для конструкций, в которых возникают относительно высокие растягивающие напряжения. Растянутую зону таких конструкций армируют стальными стержнями (арматурой). Наиболее целесообразно применять железобетон в изделиях, подверженных изгибу. В этом случае сталь воспринимает растягивающие напряжения, а цементобетон — сжимающие, поэтому такая конструкция хорошо сопротивляется изгибающим нагрузкам. Совместной работе цементобетона и стальной арматуры способствует хорошее сцепление между ними, близость коэффициентов температурного расширения. Кроме того,

бетон предохраняет стальную арматуру от коррозии, что обеспечивает долговечность железобетона в различных условиях эксплуатации.

Различают монолитные и сборные бетонные и железобетонные изделия. Монолитные железобетонные конструкции изготавливают непосредственно на месте строительства инженерного сооружения. Монолитным конструкциям наряду с их высокой жесткостью, долговечностью присущи недостатки: невозможно полностью механизировать и автоматизировать трудоемкие процессы по изготовлению железобетонных конструкций: трудно обеспечить качественную укладку и уплотнение жестких бетонных смесей с низким водо-цементным отношением; длительный период твердения бетона особенно при низких температурах; неизбежны трудоемкие и дорогостоящие работы по устройству опалубки. Эти недостатки монолитного железобетона устраняются при изготовлении сборных железобетонных изделий на заводах и полигонах с последующим монтажом их на площадке строительства. Поэтому уже на ранней стадии применения железобетона (конец XIX и начало XX веков) использовались такие сборные элементы, как перемычки, небольшие балки, трубы, кольца и др. С развитием технологии бетонных работ, созданием специальных строительных машин и оборудования появилась возможность изготовления и использования больших, сложных и разнообразных сборных железобетонных конструкций.

В последние годы технология производства сборного железобетона получила бурное развитие в СССР. Уже в годы первых пятилеток советские строители взяли твердый курс на производство сборных железобетонных изделий. Выпуск сборного железобетона в 1973 г. составил более 100 млн. м³. За эти годы в СССР создана самая крупная в мире промышленность сборных железобетонных конструкций и деталей.

Однако наряду с преимуществами сборного железобетона, предопределившими его бурное развитие, ему присущи некоторые недостатки: значительная объемная масса железобетона, что затрудняет изготовление ферм, балок, настилов больших пролетов, особенно их транспортирование и монтаж. Сборный железобетон имеет обычно повышенный расход цемента по сравнению с монолитным бетоном. В ряде случаев не решены еще полностью вопросы, связанные с омоноличиванием стыков, что снижает жесткость сооружений. Пока высока себестоимость изделий на заводах сборного железобетона.

Вместе с тем заводская технология сборного бетона и железобетона позволяет полностью механизировать и автоматизировать их изготовление, применять передовую организацию и технологию их производства, экономично расходовать материалы (в первую очередь, металл), повысить качество и экономичность изделий и, что самое существенное, производить работы как на заводе, так и на строительной площадке круглый год.

Железобетонные конструкции изготавливают с обычной и предварительно напряженной арматурой. Необходимость предварительного натяжения арматуры обусловлена тем, что растяжимость арматурной стали почти в 10 раз больше предельной растяжимости бетона. Поэтому в изделиях с ненапряженной арматурой не в полной мере используется металл или в растянутой зоне изделий неизбежно появление трещин в бетоне, что увеличивает прогибы, способствует коррозии арматуры вследствие попадания на нее воды в возникших трещинах. При предварительном напряжении арматуры бетон обжимается арматурой. В этом случае в железобетонном изделии трещины появляются лишь в том случае, когда растягивающие напряжения превысят сумму напряжений предварительного обжатия и разрушающих бетон в условиях растяжения. Обычно напряжения обжатия составляют более 70% отменной суммы напряжений. Наряду с этим предварительное напряжение арматуры позволяет снизить

массу железобетонных конструкций, увеличить их жесткость, повысить долговечность и уменьшить расход арматуры.

Железобетонные изделия подразделяют по виду используемого бетона (тяжелые, легкие, силикатные, ячеистые бетоны), по внутреннему строению (сплошные, пустотелые, однослойные, двухслойные, многослойные) и т. д.

Сборные бетонные и железобетонные изделия делят и по назначению. Например, можно выделить следующие группы:

изделия, применяемые для строительства дорог: плиты для устройства дорожных покрытий и оснований, плиты для тротуаров, бортовые камни, километровые столбы, столбы для указательных знаков и катафотов, надолбы и др.;

изделия для сборных мостов и труб: блоки для устройства фундаментов, свай и опоры мостов, балки для пролетных строений, звенья для труб и лотков, ограждающие детали и др.;

изделия, используемые в строительстве промышленных, общественных, административных и гражданских зданий;

изделия для гидротехнических сооружений: плиты, свай, трубы, лотки, ограждающие элементы и др.;

изделия, используемые для устройства оград, опор линий электропередач, связи и освещения;

изделия для устройства водопроводно-канализационных и других сооружений: водопроводные и канализационные трубы, коллекторы, смотровые колодцы, дождеприемники, хранилища жидких и сыпучих материалов.

§ 52. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Производство бетонных и железобетонных изделий на заводах и полигонах складывается из следующих основных технологических процессов: складирование и подготовка материалов; приготовление бетонной смеси; изготовление арматурных элементов, каркасов, закладных деталей; армирование и формование изделий; твердение изделий (тепловая обработка изделий); распалубка готовых изделий, подготовка форм к следующему циклу; обработка лицевых поверхностей некоторых изделий; контроль качества готовых изделий, их сборка и комплектование, складирование.

Различают два принципиально отличных способа организации производства железобетонных изделий:

1. Изготовление изделий производится в формах, перемещаемых от одного рабочего поста технологической линии к другому. Посты стационарны и специализированы для выполнения одной или нескольких технологически однородных операций. Изготовление изделий по этому способу осуществляется на конвейерных и агрегатно-поточных технологических линиях.

Конвейерная технологическая линия работает по принципу пульсирующего конвейера, состоящего, как правило, из форм-вагонеток, перемещаемых через строго определенные интервалы от

поста к посту, или по принципу непрерывного конвейера, представляющего собой движущуюся бесконечную ленту, на которой последовательно совершаются операции по подготовке форм, армированию, формованию и тепловой обработке изделий.

При агрегатно-поточном способе производства форма с изделием перемещается от поста к посту с произвольным интервалом времени, зависящим от длительности операций на данном посту, и может колебаться от нескольких минут (например, очистка и смазка формы) до нескольких часов (твердение изделий в пропарочных камерах).

2. Изготовление изделий производят в перемещаемых формах. Все технологические операции осуществляются на одном месте. К этому способу относятся формование изделий на стендах или в кассетах.

При стендовом способе производства изделие в процессе изготовления и затвердевания остается на одном месте (стенде), в то время как технологическое оборудование для выполнения отдельных операций последовательно перемещается от одного стенда к другому.

При кассетном способе формование и твердение изделий ведется в неподвижной вертикальной форме — кассете, представляющей собой ряд отсеков, образованных стальными вертикальными стенками. В каждом отсеке формуется одно изделие. При кассетном способе по сравнению со стендовым повышается производительность труда и сокращаются производственные площади.

Технико-экономический анализ работы предприятий по различным схемам организации производства изделий (табл. 48, данные проф. А. Г. Комара) показывает, что при стендовой технологии имеют место большие затраты труда, но минимальные капиталовложения. Стендовый способ производства целесообразен на полигонах и заводах небольшой мощности, выпускающих разнообразные изделия, а также при изготовлении тяжелых изделий большого размера (например, фермы и балки для мостов) и сложной конфигурации (лестничные марши, ребристые плиты и др.). Для конвейерной технологии при минимальной трудоемкости изделий, максимальной механизации и автоматизации характерны наибольшие капиталов-

вложения, что обусловлено сложностью используемого оборудования. Конвейерный способ производства применяют на заводах большой мощности при выпуске однотипных изделий ограниченного ассортимента. В агрегатно-поточной технологии сочетаются относительно небольшие затраты труда со сравнительно низкими капитальными вложениями. Поэтому эта технология получила наибольшее распространение на заводах малой и средней мощности (до 100 тыс. м³ в год), выпускающих изделия большой номенклатуры.

§ 53. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СБОРНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Производство бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях позволяет эффективно применить прогрессивную технологию, сложное оборудование, что накладывает отпечаток на особенности технологии сборного бетона и железобетона.

Приготовление бетонных смесей. На передовых заводах большое внимание уделяют активации исходных составляющих. Часто осуществляют домол цемента в шаровых мельницах, повышая его удельную поверхность на 30—50%, что увеличивает его активность, особенно в первые дни твердения. Целесообразно осуществлять мокрый помол цемента, затворенного водой ($\frac{B}{Ц} = 0,35 - 0,45$) с добавками ускорителей твердения совместно с минеральными компонентами (кварцевый песок, шлак и др.). На некоторых заводах осуществляют виброактивацию цемента, которая заключается в том, что цементное тесто ($\frac{B}{Ц} = 0,20 - 0,25$) подвергается высокочастотной вибрации в течение 5—10 мин. Возможна активация цементного теста в высокоскоростных смесителях (до 1000 об/мин смесительных устройств). В этих случаях достигается более равномерное распределение воды в цементном тесте, активизируется поверхность зерен цемента, что интенсифицирует физико-химические процессы структурообразования и твердения бетонов.

При производстве высокопрочных бетонов целесообразна активация песка и щебня. Обычно песок частично домалывают или обрабатывают на бегунах, щебень додрабливают непосредственно перед их подачей в бетономешалку. Это раскрывает новые поверхности, что активизирует физико-химические процессы и способствует повышению прочности бетонов, особенно при растяжении.

В последнее время все чаще активизируют воду путем пропускания ее через магнитное или электромагнитное поле, что ускоряет образование центров кристаллизации, а следовательно, твердение бетонов, особенно в раннем возрасте.

Наряду с использованием бетономешалок свободного и принудительного действия на заводах железобетонных изделий применяют вибросмесители, в которых смесь подвергается интенсивному вибрированию в смесительном барабане, в результате чего достигается более однородная смесь. Этот способ эффективен при приго-

Таблица 48

Показатели	Технологические схемы		
	Стендовая	Агрегатная	Конвейерная
Цеховая себестоимость переработки материалов на 1 м ³ изделий, %	100	52	73
Затраты труда рабочих на 1 м ³ , %	100	25	12
Удельные капиталовложения на 1 м ³ годового выпуска, %	100	129	261

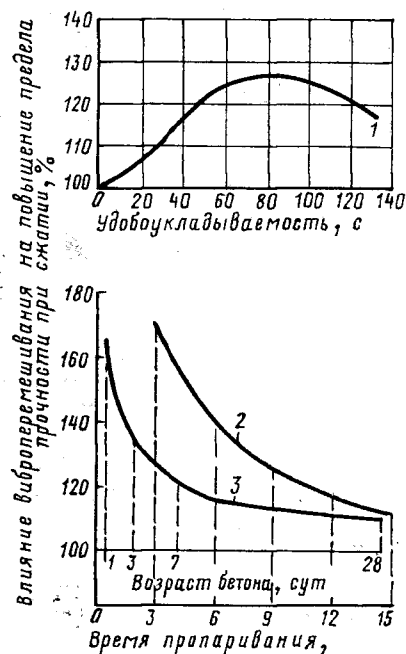


Рис. 105. Влияние вибрационного перемешивания на прочность бетонов в зависимости от:

- 1 — удобоукладываемости бетонной смеси; 2 — продолжительности пропаривания; 3 — возраста бетона

дисперсном состоянии (величина капель воды меньше 100 мк). В этом случае возможно повышение прочности до 30%, что обусловлено более равномерным распределением воды среди компонентов смеси и ускорением процессов гидратации цемента. Жесткие мелкозернистые и песчаные бетонные смеси целесообразно перемешивать в условиях неглубокого вакуума (остаточное давление $0,3\text{—}0,5 \text{ кгс/см}^2$). При перемешивании бетонной смеси в неглубоком вакууме практически исключается вовлечение в нее воздуха, что способствует лучшему уплотнению бетонных смесей, а также уменьшению деструкции бетонов в процессе их твердения в условиях тепловлажностной обработки, а следовательно, и повышению прочности бетонов на 30—20%.

Армирование железобетонных изделий. Арматурой называют стальные стержни, каркасы, закладные части, которые размещают в бетонной конструкции и главным образом, в тех ее местах, которые подвергаются растягивающим усилиям. Стоимость арматуры составляет около 25% от общей стоимости железобетонных изделий.

Для армирования изделий применяют горячекатаную упрочненную стержневую сталь гладкого и периодического профиля, проволочную арматуру, из которой изготавливают сетки, каркасы, пряди,

товлении мелкозернистых бетонных и растворных смесей умеренной жесткости (рис. 105). Эффективны также скоростные смесители турбулентного типа. На рис. 106 представлена схема струйного двухвального смесителя турбулентного действия конструкции А. Р. Машина. Здесь компоненты смесей интенсивно смешиваются в струе сжатого воздуха, который подается под давлением 5 кгс/см^2 через полые валы, вращающиеся со скоростью 1000—1500 об/мин. Сжатый воздух вдувается с большой скоростью, создавая вихревые движения смешиваемых материалов, это сопровождается соударением частиц, в результате чего обнажается их реакционно-способная поверхность. Вода и цемент проходят через электромагнитное поле под давлением, что повышает прочность бетона.

Эффективна подача воды в бетономешалку через магнитное или электромагнитное поле в

канаты (рис. 107). Нормативная прочность стержневой арматуры обычно не превышает 100 кгс/мм^2 , проволочная арматура имеет прочность $140\text{—}200 \text{ кгс/мм}^2$. Закладные детали (монтажные петли, крюки и др.) производят из Ст. 3 и Ст. 5.

Армирование обычных железобетонных изделий состоит из подготовки арматуры, сварки сеток, каркасов, закладных частей и установки их в проектное положение. Эти операции производят в арматурном цехе, оборудованном высокопроизводительными сварочными и другими машинами.

Предварительное натяжение арматуры устанавливают из условия обжатия бетона до 60 кгс/см^2 для изгибаемых элементов и до 150 кгс/см^2 для железобетонных конструкций, работающих на растяжение, и осуществляют на жестких стендах и формах механическими или электротермическими способами. Натяжение арматуры механическим способом выполняют путем приложения силового воздействия непосредственно к арматуре в виде осевого растяжения до 150 тс при помощи гидравлических домкратов, а также грузовых или винтовых устройств. Вначале проволоку натягивают до $0,5 R_k$ (R_k — контролируемое натяжение), проверяют правильность и надежность установки анкеров, хомутов, ненапрягаемой арматуры, затем напряжение сбрасывают до нуля, после чего повторно доводят напряжение до R_k . Величину натяжения контролируют динамометрами.

При электротермическом способе удлинение арматуры на заданную величину осуществляется путем ее нагрева до соответствующей температуры электрическим током, после чего нагретый стержень заанкеривают с обеих сторон стенда (формы), что препятствует его укорочению при последующем охлаждении. После затвердевания арматура освобождается от упоров и усилие натяжения арматуры

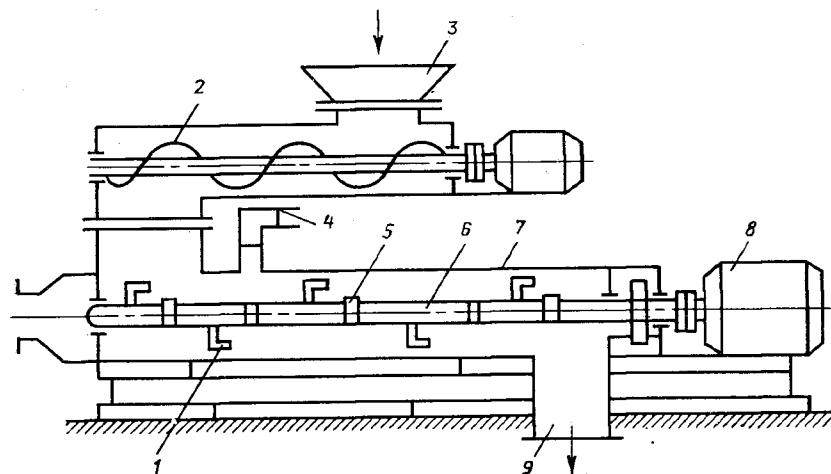


Рис. 106. Схема струйного турбулентного смесителя:

- 1 — сопло для выхода сжатого воздуха; 2 — шнек-питатель; 3 — загрузочная воронка для сухих компонентов смеси; 4 — подача воды затворения; 5 — патрубки; 6 — полый вал; 7 — корпус смесителя; 8 — электродвигатель; 9 — выдача готовой продукции

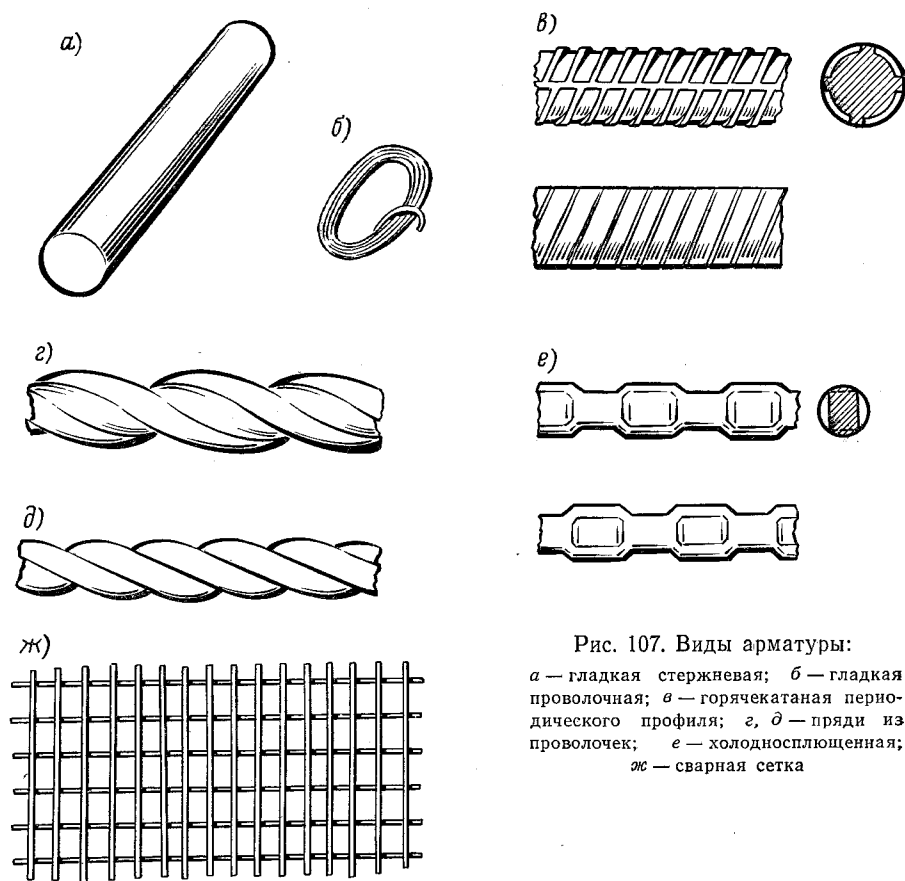


Рис. 107. Виды арматуры:
а — гладкая стержневая; б — гладкая
проволочная; в — горячекатаная перио-
дического профиля; г, д — пряди из
проволочек; е — холодносплюснутая;
ж — сварная сетка

передается на бетон. Арматуру нагревают до 250—400°С в течение 3 мин током 60—65 В. Этот способ натяжения арматуры прост и экономичен.

Формование железобетонных изделий. Формование изделий включает: подготовку форм, установку и закрепление арматуры, укладку и уплотнение смеси, отделку поверхности. Качество формования, а следовательно, и готового изделия определяется состоянием форм, свойствами смазки и соответствием технологических свойств бетонных смесей имеющемуся оборудованию для их уплотнения.

Формы обеспечивают получение проектных размеров изделий, качество их поверхности. Они должны обладать необходимой жесткостью, обеспечивать простоту сборки и разборки, не допускать вытекания цементного теста во время формования изделий. Наиболее распространены металлические формы, которые обеспечивают длительный срок их эксплуатации (пять лет и более), высокую обрабатываемость. Их изготавливают из стальных листов (толщиной

6 мм и более) и прокатного сортамента. Стоимость форм обычно составляет половину общей стоимости всего технологического оборудования на заводе.

Срок службы форм зависит от надежности и простоты их конструкции, от ухода за ними в процессе эксплуатации, основой которой является очистка и смазка форм. Смазка должна хорошо удерживаться на поверхности формы во время всех технологических операций, обеспечивать возможность ее механизированного нанесения (например, распылением), практически полностью исключать сцепление поверхности бетонного изделия с формой, не должна портить внешнего вида изделий и не влиять на сроки и интенсивность твердения бетона, не вызывать коррозию металла, а также не выделять вредных испарений. Таким требованиям удовлетворяют масляные эмульсии с добавкой кальцинированной соды. Возможно использовать масляные смазки, а также мыльно-глиняные, мыльно-цементные и другие водные суспензии.

Методы формования изделия и средства уплотнения, применяемые на заводах, можно разделить на такие группы: формование методом литья; виброформование; виброформование в сочетании с давлением относительно небольшой величины; формование с уплотнением смеси прессованием, укаткой, трамбованием; формование, обеспечивающее удаление избыточной жидкой и воздушной фазы в процессе уплотнения смеси.

Формование изделий методом литья осуществляют главным образом из литых ячеистых смесей. Под действием собственной массы смесь заполняет форму, лишь в отдельных случаях требуется уплотнение смеси ручной штыковкой в углах формы или местах скопления арматуры, после чего разравнивают или срезают смесь ровень с краями формы.

Виброформование применимо для подвижных, малоподвижных и умеренно жестких бетонных смесей, обладающих способностью тиксотропно разжижаться при сравнительно небольшой и длительной виброобработке. Применяют виброуплотнение поверхностное, при котором виброимпульсы передаются через поверхность смеси с помощью плоских вибраторов, вибрирующих элементов формы — опалубки; глубинное, при котором колебательные импульсы передаются через глубинные вибраторы или вибровкладыш; объемное виброуплотнение, если изделие устанавливается на виброплощадке, которая передает колебания всей смеси.

Виброплощадки с горизонтальной платформой, на которой крепятся изделия, используют для уплотнения плит, панелей, колонн, балок и др. Промышленность выпускает виброплощадки с грузоподъемностью от 2 до 24 т с амплитудой колебания от 0,4 до 0,6 мм и частотой 50 гц. Габаритные размеры площадок от 0,7×3,9 до 2,5×14,5 м. При использовании жестких смесей целесообразно производить их вибрацию под давлением пригрузочного щита с удельным давлением на поверхность от 20 до 70 гс/см². Некоторые виброплощадки оборудованы подъемно-опускными щитами. Особенно

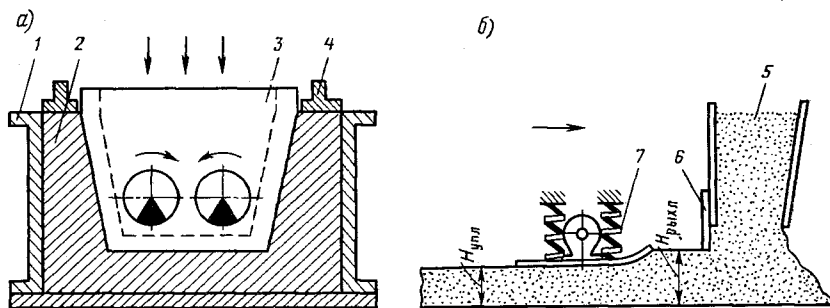


Рис. 108. Схема виброштампования изделий:

- а — виброштампование стационарное с образованием заданного профиля изделий;
 б — виброштампование скользящее;
 1 — форма; 2 — бетонные смеси; 3 — виброштамп; 4 — прижимная рама; 5 — бункер бетоноукладчика со смесью; 6 — отбойный щиток; 7 — скользящий виброштамп

эффективно применение таких виброплощадок для формирования дорожных плит.

Виброформование изделий в вертикальных формах используют при формировании изделий замкнутого сечения (трубы), изделий сложного профиля (лестничные марши) или стеновых панелей. При формировании изделий в вертикальных формах обычно используют подвижные бетонные смеси. Вертикальное виброформование изделий целесообразно при толщине стенок 10 см и более и высоте изделий до 3 м.

Виброформование с дополнительными механическими воздействиями используют при уплотнении жестких бетонных смесей, характеризующихся слабым тиксотропным разжижением и нуждающихся в некотором принудительном уплотнении давлением. К таким методам относятся виброштампование, вибропрессование, вибропрокат и др.

Виброштампование изделий осуществляется пуансоном-виброштампом, через который одновременно передается давление P и возмущающая сила вибраций Q . Оптимальное соотношение $\frac{Q}{P} = 2,0 - 3,0$. Для бетонных смесей с жесткостью до 100 с $P \approx$

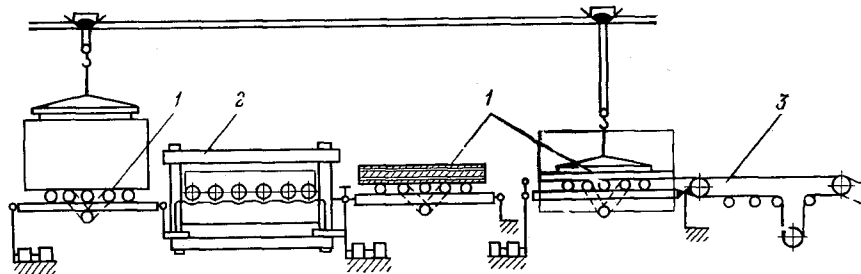


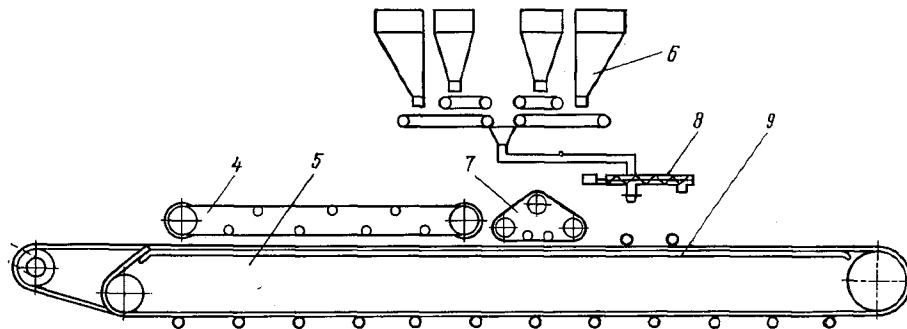
Рис. 109. Схема прокатного стана для изго-

- 1 — кантователь; 2 — гидравлический пресс; 3 — обгонный ролик; 4 — накрывной транспорт; 7 — калибрующая секция; 8 —

$\approx 80 - 120$ гс/см², а для смесей повышенной жесткости (жесткость до 200 с) $P = 200$ гс/см². Различают виброштампы стационарные и скользящие (рис. 108). Методом виброштампования можно изготавливать крупноразмерные профильные железобетонные изделия длиной до 24 м (пролетные строения мостов, фермы, балки, ребристые плиты и др.).

Сущность *вибропрессования* заключается в том, что уложенная в форму и частично уплотненная вибрацией бетонная смесь подвергается прессованию, обеспечивающему дополнительное уплотнение. Достигнутое обжатие сохраняется в опрессованном изделии в течение некоторого времени, необходимого для достижения бетоном прочности, позволяющей фиксировать достигнутую плотность в последующее время. Величина прессующего давления 25—50 кгс/см², при этом из изделия удаляется избыточная несвязная вода в количестве 8—12% от воды затворения. Эффективность вибропрессования зависит от режима виброуплотнения и прессующего давления (интенсивности роста давления до заданной величины, длительности приложенного давления и т. д.). При оптимальных параметрах можно повысить прочность бетона до 50%.

Вибропрокат осуществляют на вибропрокатных станах БПС-6 (конструкции Н. Я. Козлова), на которых формуют изделия шириной 3,2 м, толщиной до 30 см и длиной 6—9 м. Основными узлами этого стана являются формирующая горизонтальная лента (конвейер), бетоносмесительный узел и устройство для снятия изделий (рис. 109). Лента служит поддоном-матрицей. За один полный оборот ленты выполняются все операции по изготовлению изделий. Бетонная смесь из бетономешалки принудительного непрерывного действия поступает в бетоноукладчик, который укладывает и разравнивает бетонную смесь на формирующей ленте. Уплотняется смесь с помощью вибробалки, установленной под формирующей лентой. Частота колебаний 50—100 гц, амплитуда 0,4 мм, продолжительность уплотнения 45—75 с. Дополнительное выравнивание и уплотнение бетонной смеси производят с помощью фрезы и калибрую-



товления железобетонных панелей и плит:

- тер надзонной термообработки; 5 — прокатный стан; 6 — дозирочно-смесительное отделение бетономешалка; 9 — приемная секция

шихся катков. Отформованное изделие поступает в камеру гидро-термальной обработки.

Силовой вибропрокат обеспечивает высокую плотность и прочность бетона, повышенную морозо- и износостойкость. Его применяют при формировании плит дорожных покрытий, бортовых камней, облицовочных плит. Сущность силового вибропроката заключается в многоступенчатом виброуплотнении особо жестких смесей с одновременным интенсивным давлением смесей на бетон последовательно расположенных валков прокатного стана. Давление валков на бетон постепенно возрастает и достигает на последних валках до 10 тс/м.

Прессование используют для формирования изделий из особо жестких бетонных смесей. В этом случае происходит принудительное перемещение и взаимное сближение частиц бетонной смеси, из которой одновременно удаляется избыточная вода и воздух. Величина прессующего давления находится в пределах 150—400 кгс/см². Прессование смеси можно осуществить через штампы, методом экструзии (бетонная смесь выдавливается из мундштука в виде сплошной ленты изделия) и при помощи катков, перемещающихся по уложенной в форму бетонной смеси. Прессование эффективно при формировании изделий из жестких мелкозернистых смесей. Для крупных изделий целесообразно применять прессование смеси катками, для мелких изделий (например, тротуарные плитки) — штампами.

Формование центрифугированием используют для изготовления труб, колонн, свай, опор линий электропередач. Во вращающуюся вокруг своей оси цилиндрическую форму подается пластичная смесь, которая под действием центробежной силы распределяется, уплотняется и формируется в полое цилиндрическое изделие.

Начальная скорость вращения формы колеблется в пределах 60—150 об/мин. В этот период смесь равномерно распределяется в трубе, затем скорость ее вращения увеличивается до 400—900 об/мин. Под действием центробежного давления смесь уплотняется, отжимается 20—30% воды затворения, что обеспечивает получение бетонов марки 400—600. Режим центробежного формования определяется скоростью вращения формы и длительностью процесса центрифугирования. Скорость вращения формы вычисляют по формуле

$$n = 1000 \sqrt{\frac{11NR}{R^3 - r^3}},$$

где N — расчетное прессующее усилие, кгс/см²; R и r — внешний и внутренний радиусы трубчатого изделия, см.

Длительность центробежного уплотнения составляет 10—25 мин, такая продолжительность обусловлена относительно небольшим усилием $N=0,6—1,0$ кгс/см², увеличение которого связано с увеличением скорости вращения формы, что является главным недостатком этого способа формования изделий. Кроме того, при центробежной укладке бетонной смеси происходит ее расслоение, крупные зерна перемещаются ближе к наружному диаметру. Поэтому ис-

выше прочности бетонов, твердевших в условиях тепловой обработки.

Чтобы уменьшить деструкцию в изделии, ускоряют процессы структурообразования для достижения такой прочности бетонов, при которой образовавшаяся структура способна воспринять возникающие в бетоне напряжения и деформации вследствие тепло- и массообменных явлений. Это до-

стигается применением быстротвердеющих цементов высоких марок. Лучшими цементами являются портландцементы и шлакопортландцементы с нормальной густотой цементного теста (меньше 27%) и содержащие C_3S более 50% и C_3A — 8—12%. Весьма эффективно введение добавок-ускорителей твердения, активация цементного теста, виброперемешивание, удаление воздуха из бетонных смесей (например, их вакуумирование), применение жестких бетонных смесей с пониженным начальным водосодержанием (меньше 170 л воды в 1 м³ бетонной смеси).

Тепловая обработка бетонов, приготовленных на основе шлаковых, шлакопортландцементов, пуццолановых портландцементов, особенно при автоклавном твердении, способствует активации цемента, поэтому прочность бетонов на этих цементах в 28-дневном возрасте может быть несколько выше прочности бетонов естественного твердения. В этом случае улучшение свойств бетона за счет тепловой обработки перекрывает влияние деструкции. Поэтому применение шлакопортландцементов, пуццолановых и шлаковых цемента целесообразно при тепловой обработке бетонов.

Продолжительность полного цикла тепловой обработки равна (рис. 110):

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4,$$

где T_1 — период предварительного выдерживания сформованных изделий до начала тепловой обработки, ч; T_2 — период нагрева, ч; T_3 — период изотермического нагрева, ч; T_4 — период охлаждения, ч.

Предварительное выдерживание T_1 : необходимо почти при всех способах тепловой обработки, поскольку в этот период обеспечивается такая прочность структуры, при которой воспринимаются деформации, обусловленные тепломассообменными процессами при нагревании бетонных изделий. Без предварительного выдерживания уменьшается степень гидратации цемента вследствие образования плотных гидратных оболочек на зернах цемента, уменьшается прост прочности, развивается интенсивная деструкция бетона, поэтому качество изделий резко ухудшается. Продолжительность T_1 составляет 1—4 ч. С применением быстротвердеющих цементов вы-

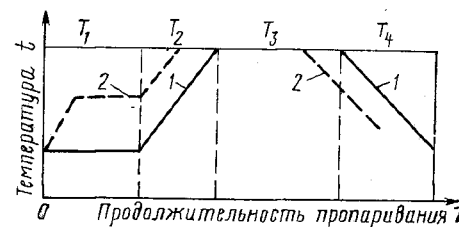


Рис. 110. Режимы тепловлажностной обработки бетонных изделий:

1 — типовой режим; 2 — ступенчатый режим; T_1 — предварительная выдержка изделий; T_2 — подъем температуры; T_3 — изотермический пропаривание изделий; T_4 — охлаждение изделий

соких марок, уменьшением водо-цементного отношения и содержания воды в смеси, с введением ускорителей твердения величина T_1 уменьшается.

Период нагрева T_2 — наиболее ответственный этап тепловой обработки, так как в это время наиболее интенсивно протекает деструкция в бетоне. Скорость подъема температуры v_t зависит от величины начальной прочности в бетоне $R_{\text{н}}$, достигнутой во время предварительного выдерживания, интенсивности структурообразования в смеси и массивности изделий. Для массивных изделий из пластических смесей, характеризующихся небольшой скоростью структурообразования, темп нагревания не должен превышать 20 град/ч, а для небольших тонкостенных изделий, сформованных из жестких смесей, v_t может достигать 40 град/ч. Если начальная прочность $R_{\text{н}}$, достигнутая в период T_1 меньше 2 кгс/см², то $v_t < 10$ град/ч, при $R_{\text{н}} > 6$ кгс/см² $v_t > 30$ град/ч. Если трудно организовать предварительное выдерживание формованных изделий, то вначале подъем температуры осуществляют со скоростью, меньшей 10 град/ч, а в конце периода T_2 скорость подъема увеличивают до 30 град/ч. Возможны ступенчатые периоды подъема температуры: вначале в течение 1,0—1,5 ч она поднимается до $t = 40—45^\circ\text{C}$, затем после выдержки изделия при этой температуре в течение 1,0—1,5 ч она поднимается до расчетной величины со скоростью 20—30 град/ч. Для изделий, к которым предъявляют высокие требования по морозостойкости, период T_2 возрастает (скорость подъема температуры равна 10—15 град/ч).

Продолжительность изотермического нагрева T_3 сокращается с увеличением его температуры $t_{\text{из}}$, которая колеблется в пределах 65—100°С. Для портландцементов, содержащих алюминатов C_3A больше 10%, величина $t_{\text{из}}$ не должна превышать 70°С, при умеренном содержании C_3A в портландцементе изотермическую температуру повышают до 85°, в случае использования пуццолановых и шлакопортландцементов $t_{\text{из}} = 95—100^\circ\text{C}$. Для изделий, формируемых из жестких смесей, величина изотермической температуры больше, чем для изделий из пластических смесей. Величина изотермической температуры зависит от минералогического состава щебня и песка. Для известняковых пород величина $t_{\text{из}} \leq 70^\circ\text{C}$, в случае применения гранитного щебня и кварцевого песка величина изотермической температуры может быть увеличена. Длительность T_3 составляет обычно 9—12 ч при $t_{\text{из}} = 60—70^\circ\text{C}$ и ее величина может быть сокращена до 2—3 ч при $t_{\text{из}} = 95—100^\circ\text{C}$.

Период T_3 меньше для жестких смесей и возрастает для бетонов, приготовленных на шлаковых и шлакопортландцементе. Продолжительность изотермического периода зависит от величины прочности, которую необходимо получить к концу тепловой обработки. Не рекомендуется поддерживать изотермическую температуру после достижения бетоном 70% от прочности, соответствующей марке бетона.

Скорость охлаждения затвердевания изделий должна быть такой, при которой не образуются опасные температурные и усадоч-

ные трещины в бетоне. Продолжительность периода охлаждения T_4 зависит в основном от тех же факторов, что и T_2 , и составляет 1,5—2,0 ч для небольших изделий, изготовленных из жестких смесей, и более 3 ч — для массивных изделий из пластических смесей. Температурный перепад в момент извлечения изделия из камеры между температурой его поверхности и окружающего воздуха не должен превышать 20—40°С.

Пропаривание изделий при атмосферном давлении производят в камерах, заполненных паром или паровоздушной смесью с относительной влажностью, близкой к 100%, и температурой изотермического прогрева 65—100°С. Продолжительность пропаривания зависит от вида цемента, состава бетона, пластичности бетонных смесей, массивности изделий. Для массивных изделий из пластических смесей она колеблется от 14 до 20 ч, для небольших изделий из малоподвижных смесей — от 4 до 8 ч (табл. 49). Режим пропаривания окончательно устанавливают после опытной проверки. Обычное пропаривание ускоряет твердение бетона в 7—8 раз и является наиболее распространенным способом тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий.

Пропаривание изделий осуществляется в пропарочных камерах *периодического или непрерывного действия*. Среди камер периодического действия большое применение находят камеры *много типа* (рис. 111) глубиной более 2 м. Размер камеры в плане соответствует размеру изделия или кратен ему, что обеспечивает высокий коэффициент загрузки камер. Пар в камеры поступает через перфорированные трубы диаметром 50—60 мм, расположенные внизу на уровне пола. Отверстия диаметром 3—4 мм расположены через 150—200 мм по длине трубы. В камерах обеспечивается сток конденсата, они закрываются паронепроницаемой крышкой с водяными затворами. Ямные камеры удобны в эксплуатации, однако в них не обеспечивается равномерность тепловлажностного режима по объему камеры. В нижних зонах камеры температура всегда меньше, чем в верхних зонах, особенно большие перепады температуры и влажности наблюдаются в пространстве между изделиями. Обычно ямные камеры недостаточно изолированы, вследствие чего про-

Таблица 49

Толщина изделия, см	Удобукладываемость смеси, с	Периоды $T_2 + T_3 + T_4$, ч, при $t^\circ\text{C}$		
		60	80	95—100
10	30—60	2+14+1,5	2,5+6+1,5	3+3+2
	80—100	2+9+1	2+5+1,5	3+2+2
10—20	30—60	2+14+1,5	3,5+10+2,5	3,5+3+2,5
	80—100	2+9+1,5	2,5+5+2	3,5+2+2,5
20—40	30—60	3+14+2	3,5+6+2,5	4+3+3
	80—100	3+3+2	3,5+5+2,5	4+2+3
40	30—60	3+14+2,5	4+6+3	4,5+3+3,5
	80—100	3+9+2,5	4+5+3	4,5+2+3,5

исходит засасывание воздуха в камеру или утечка пара из камеры. Усовершенствованная камера Гипростройиндустрии оборудована автоматическими регуляторами, гидравлическими затворами, которые улучшают изоляцию камеры от помещения цеха. Харьковский автомобильно-дорожный институт разработал камеру с принудительной циркуляцией пара, который кондиционируется в специальных конусных дросселях, что обеспечивает равномерное тепловлажностное поле в объеме камеры. Пропаривание изделий в камере ХАДИ обеспечивает повышение однородности бетона (отклонения от средней прочности бетонов в различных точках дорожных плит уменьшаются с ± 20 до $\pm 5\%$) при одновременном увеличении его прочности до 15% и сокращении расхода пара на 30% .

Камеры непрерывного действия применяют на конвейерных линиях. Различают горизонтальные туннельные камеры, в которых изделия по мере загрузки передвигаются от начала к концу камеры, и вертикальные камеры, в которых изделия по мере их поступления перемещаются по вертикали сначала вверх, а затем вниз (рис. 112). Туннельные камеры разделены тепловыми завесами на три зоны — подогрев, изотермический нагрев и охлаждение изделий. В вертикальных камерах вследствие естественного распределения температуры на разных уровнях по высоте изделия по мере их подъема и опускания проходят все стадии пропаривания. Более перспективными являются вертикальные камеры непрерывного действия.

Пропаривание изделий в автоклавах производят водонасыщенным паром при температуре $175\text{--}190^\circ\text{C}$ и давлении $9\text{--}13\text{ кгс/см}^2$.

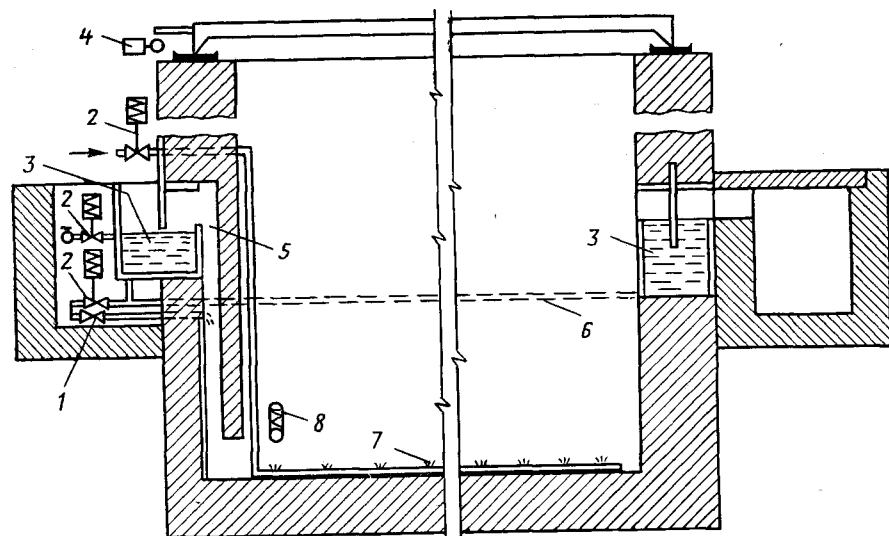


Рис. 111. Пропарочная камера ямного типа:

1 — вентили для регулирования слива и подачи воды; 2 — электромагнитные вентили-клапаны; 3 — водяные затворы; 4 — выключатель; 5 — воздушный зазор; 6 — соединительная труба; 7 — подача пара в камеру; 8 — датчик температуры в камере

В этих условиях ускоряются процессы взаимодействия между вяжущим веществом и водой, образуются новые соединения по сравнению с твердением при обычном давлении, что способствует образованию более прочных изделий. Твердение в автоклавах используют для изделий, изготовленных на низкомарочных цементах и, в частности, известковокремнеземистых. В настоящее время на заводах широко используется тепловая обработка с использованием контактной передачи тепла бетону через ограждающие поверхности закрытой формы. В этом случае изолированное со всех сторон изделие с формой помещается в паровоздушную среду (прокатный стан БПС-6) или теплоноситель (пар, горячая вода, нагретое масло циркулирует по змеевикам, уложенным на поверхности изделия кассеты). При контактом прогреве исключается свободный тепло- и массообмен между бетоном изделия и окружающей средой, температурные деформации ограничены формой, что уменьшает деструкцию в бетонах, повышает их прочность на $10\text{--}15\%$, а также сокращает длительность тепловой обработки изделий.

На заводах железобетонных изделий достаточно широко применяют электропрогрев, при котором сформованное изделие включается в цепь, и переменный электрический ток промышленной частоты пропускают сквозь тело бетона. В результате омического сопротивления среды (бетон — проводник второго рода) электрическая энергия преобразуется в тепловую в соответствии с законом

$$Q = 0,864I^2Rt = 0,864IUt = 0,864Pt_1,$$

где I — сила тока, А; U — напряжение, В; R — омическое сопротивление, Ом; P — электрическая мощность, Вт; t — время, ч.

По техническим особенностям и санитарно-гигиеническим условиям производства электропрогрев изделий имеет несомненное преимущество перед паропрогревом: устраняется необходимость в пропарочных камерах, электроды, пропущенные внутрь бетона, увеличивают равномерность разогрева; упрощаются конструкции для прогрева и средств автоматизации. Однако расход энергии в этом случае высок (в настоящее время он составил $86\text{--}100\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ на 1 м^3 изделия).

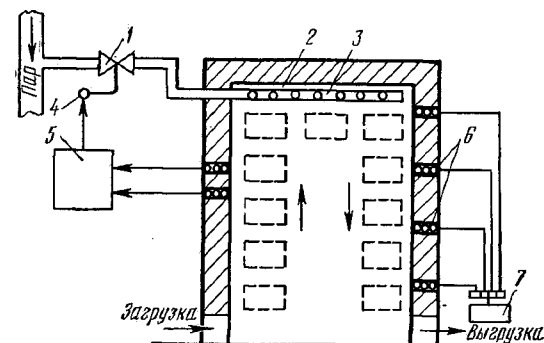


Рис. 112. Пропарочная камера непрерывного действия:

1, 4 — устройство, регулирующее подачу пара; 2 — верхняя зона камеры; 3 — перфорированная труба; 5 — программный регулятор температуры; 6 — датчики температуры; 7 — устройство для записи температуры

При электропрогреве по сравнению с пропариванием наиболее существенно изменяются физические условия протекания твердения бетона. В этом случае тепло возникает в теле бетона и его температура всегда выше температуры окружающей среды, что способствует, если изделие не закрыто, значительному испарению воды из бетона и потере тепла в окружающую среду. Поэтому разогреваемые электрическим током бетонные изделия покрывают паронепроницаемыми пленками, мастиками, ковриками, устраивают теплоизоляцию форм. Электропрогреву в открытых формах подвергают массивные изделия, электроразогрев тонкостенных изделий с модулем поверхности больше 10—15 эффективен в кассетах или закрытых формах.

При электропрогреве изделий изотермическая температура $t_{из} = 60—100^\circ\text{C}$. Поскольку в процессе твердения бетона его электропроводность уменьшается, для сохранения постоянной температуры $t_{из}$ повышают напряжение тока от 60—65 В в начале прогрева до 220 В в конце. Электроды в бетоне располагают так, чтобы они создавали равномерное тепловое поле по всему изделию. Расстояние между ними, их сечение определяются расчетом. Обычно их устанавливают на расстоянии 15—40 см друг от друга, но не ближе 5 см от арматуры. Длительность предварительного выдерживания $T_1 = 2—4$ ч, скорость подъема температуры в течение периода T_2 равна около 10—20 град/ч (пластичные смеси) и 30—40 град/ч (жесткие смеси). Период изотермического прогрева T_3 изменяется от 3 до 15 ч. Если бетон достигает 50—60% R_{28} , омическое сопротивление сильно возрастает и дальнейшее поддержание температуры изотермического прогрева обусловлено большим расходом электроэнергии. Поэтому электропрогрев обычно используют для выдерживания изделий лишь до 50% R_{28} . Период T_3 можно значительно сократить при использовании быстротвердеющих цементов, ускорителей твердения. Длительность охлаждения изменяется также в широких пределах ($T_4 = 3—5$ ч). При электроразогреве бетонов необходимо со всей тщательностью соблюдать правила электробезопасности.

Сущность *лучистого нагрева* изделий заключается в том, что бетон получает и аккумулирует тепло в виде лучистой энергии, излучаемой стержневыми или плоскими генераторами инфракрасного излучения. Стержневые излучатели применяются для нагрева пустотелых изделий, плоские — для нагрева плит. Наряду с генераторами инфракрасного излучения, работающими при $t = 600—1000^\circ\text{C}$, используют и ТЭНы, температура которых значительно ниже.

Лучистый прогрев изделий эффективен для тонкостенных изделий, поскольку проникновение лучей в глубь изделий небольшое (меньше 20 см). При этом способе тепловой обработки особенно тщательно защищают изделие от испарения влаги из бетона. Расход электроэнергии на инфракрасный прогрев составляет 120—150 кВт·ч на 1 м³ изделия. При этом сокращается цикл прогрева: $T_1 = 2—4$ ч; $T_2 = 1,5—3,0$ ч; $T_3 = 1—3$ ч; $T_4 = 2—4$ ч; общая продолжительность прогрева составляет 6—12 ч.

При *горячем формовании изделий* бетонную смесь в течение нескольких минут разогревают электротоком или паром до 60—80°С, после чего укладывают в формы. Массивные изделия могут твердеть в условиях термоса без дополнительной тепловой обработки. При изготовлении тонкостенных изделий методом горячего формования поддерживают изотермическую температуру в течение 4—6 ч, таким образом в этом случае исключаются периоды T_1 и T_2 .

Горячая бетонная смесь быстро загустевает, ее удобоукладываемость ухудшается, поэтому в бетонную смесь вводят дополнительное количество воды или повышают интенсивность уплотнения. Обычно бетонные смеси, изготовленные из горячих бетонных смесей, обладают пониженной долговечностью.

§ 55. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

На заводах железобетонных изделий контроль качества осуществляется отделом технического контроля (ОТК) и лабораторией завода. ОТК контролирует качество готовой продукции и соблюдение установленных технологических режимов, а лаборатория — качество исходных материалов, полуфабрикатов, качество бетона в изделиях. Контроль качества готовых изделий производят выборочно. Отбирают установленное техническими правилами количество изделий от каждой партии и после внешнего осмотра определяют форму и размеры изделий, качество армирования, прочность и другие свойства бетона в изделиях.

Осмотром проверяют внешний вид изделия, отмечают наличие трещин, раковин и других дефектов. Правильность размеров и формы изделия контролируются мерительными инструментами и шаблонами. Контроль армирования готовых изделий заключается в проверке толщины защитного слоя бетона, правильности размещения арматурного каркаса, закладных деталей, крюков, петель и т. п.

На заводах контролируют фактическую среднюю прочность для заданного объема и допустимую минимальную прочность бетона в отдельных сериях образцов. Оценку отклонений от средней прочности производят статистическими методами и прежде всего вычисляют коэффициент изменчивости прочности бетона, характеризующие отношение величины среднеквадратичного отклонения S к величине средней прочности

$$C_v = \frac{S}{R_{cp}} = \frac{\sqrt{\frac{(R - R_{cp})^2}{n}}}{R_{cp}},$$

где R_{cp} — средняя прочность бетона; R — частные результаты испытаний контрольных образцов; n — количество испытанных образцов, $n \geq 10$.

Чем меньше величина C_v , тем выше однородность бетона, выше и технологический уровень культуры производства изделий. Если $C_v > 0,12$, технология на данном заводе находится на низком уровне.

Величина минимально допускаемой прочности бетона в изделиях также связана с коэффициентом изменчивости C_V :

$$R_{\min} = (1 - aC_V)R_{\text{ср}},$$

где a — коэффициент согласно техническим нормам принимается равным 1,0—1,5.

Если фактическая средняя прочность испытанных образцов бетона больше требуемой средней прочности, а фактическая средняя прочность каждой серии образцов (в серию входит три и более образца близнеца) не менее минимально допустимой, прочность бетона отвечает требуемой:

Коэффициент изменчивости C_V	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
Отношение нормируемой средней и минимально допустимой прочности к марке бетона	$\frac{0,86}{0,81}$	$\frac{0,92}{0,84}$	$\frac{0,99}{0,87}$	$\frac{1,06}{0,90}$	$\frac{1,15}{0,94}$

Примечание. Над чертой — коэффициент, характеризующий долю нормируемой средней прочности от заданной марки бетона, под чертой — то же, для минимально допустимой прочности.

Таким образом, анализируя нормативные показатели, можно прийти к выводу, что при высокой однородности выпускаемых изделий величина средней прочности, а следовательно, и расход цемента меньше, чем при низкой однородности бетона, характеризуемой большим коэффициентом изменчивости C_V .

Наиболее распространенным методом определения прочности является метод испытания стандартных образцов на их прочность путем разрушения на гидравлическом прессе. Во многих случаях определяют ориентировочно прочность бетона в изделиях без их разрушения акустическими и склерометрическими методами.

Акустические приборы (рис. 113) подразделяют на ультразвуковые импульсные и ультразвуковые ударные. Сущность этих методов заключается в зависимости скорости распространения ультразвукового импульса или волны удара от прочности бетона. Таким образом измеряют скорость прохождения или распространения ультразвукового импульса или ударной волны в бетоне, по которой ориентировочно судят о прочности бетона, или определяют динамический модуль упругости по формуле

где γ — объемная масса бетона, кг/см³; v — скорость распространения ультразвука в бетоне, см/с²; μ — коэффициент Пуассона; $g = 981$ см/с².

$$E_d = \frac{\gamma v^2}{g} (1 - \mu^2),$$

Сущность склерометрических методов заключается в зависимости прочности бетона от глубины лунки в бетоне, образованной шариком прибора в результате удара, или величины отскока маятника от бетона. В этом случае также строят тарировочную кривую, устанавливающую указанную зависимость.

Чтобы повысить точность акустических и склерометрических методов, рекомендуется составлять тарировочные кривые (прочность бетона — скорость ультразвука или глубина лунки) применительно к отдельным группам бетонов, приготовленным на материалах примерно одинакового качества и состава (рис. 114).

Ультразвуковые приборы используют также для обнаружения дефектов в структуре бетонов (раковин, трещин и т. п.), так как скорость прохождения ультразвука в местах дефектов снижается в несколько раз.

Наряду с прочностью бетона определяют несущую способность изделий непосредственным испытанием. Прочность изделия контролируют по величине разрушающего груза, жесткость — по величине прогиба под контрольной нагрузкой, трещиностойкость — по величине нагрузки в момент появления трещин.

Каждое изделие маркируют, на него наносят марку предприятия-изготовителя, марку изделия по каталогу, дату изготовления, номер браковщика ОТК. На каждую партию изделий составляют паспорт, в котором отмечают основные характеристики качества изделий, дату их изготовления, наименование завода и др.

ГЛАВА VIII

Искусственные каменные материалы (без обжига)

§ 56. ИЗВЕСТКОВО-ПЕСЧАНЫЕ (СИЛИКАТНЫЕ) ИЗДЕЛИЯ

Известково-песчаные изделия (строительный кирпич, блоки, трубы, черепица, панели и др.) изготавливают из смеси кварцевого песка и воздушной извести (иногда и добавок) с последующим перемешиванием, механической формовкой и запариванием в автоклаве при температуре около 180°С и давлении 9 кгс/см².

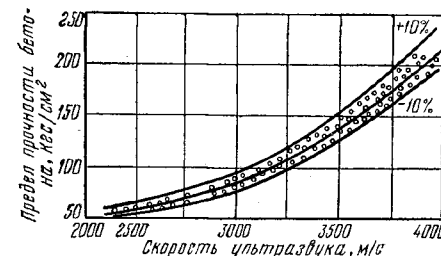


Рис. 114. Зависимость скорости прохождения ультразвуковых волн от прочности бетона

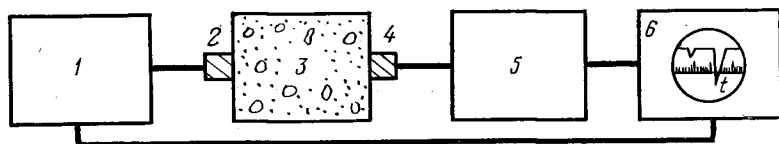
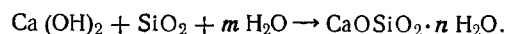


Рис. 113. Схема прибора для измерения скорости ультразвука в бетоне: 1 — генератор электрических импульсов; 2 — ультразвуковой излучатель (преобразователь); 3 — бетон; 4 — ультразвуковой приемник; 5 — усилитель; 6 — регистратор времени прохождения ультразвука

Наличие в большинстве районов основного сырья — кварцевого песка, использование в качестве вяжущего воздушной извести, сравнительно небольшой расход топлива, а также возможность полной механизации и автоматизации технологии изготовления явились факторами быстрого роста производства силикатных изделий различного вида. Этому способствовали также и теоретические работы А. В. Волженского, П. П. Будникова, Ю. М. Бутта, С. А. Кржеминского, И. А. Хинта, О. П. Мchedlov-Петрояна, В. И. Бабушкина, благодаря которым не только значительно усовершенствована технология производства, но и расширен ассортимент изделий.

Сущность технологии производства силикатных изделий заключается в следующем. При тщательном перемешивании разнозернистого кварцевого песка с воздушной известью, при влажности смеси 7—10% и дальнейшем ее уплотнении сырьевое изделие при выдерживании на воздухе медленно затвердевает, достигая прочности до 10—20 кгс/см². Еще в 1881 г. немецкий ученый В. Михаэлис показал, что известково-песчаные изделия после обработки их паром при повышенном давлении в автоклаве быстро набирают прочность. В этих условиях гидратная известь вступает в реакцию с кремнеземом, образуя в общем случае гидросиликат кальция



Исследованиями ряда ученых было показано, что в зависимости от температуры среды и состава смеси при взаимодействии водного раствора извести с SiO₂ в щелочной среде образуются различные кристаллохимические формы гидросиликатов кальция, преобладание которых обуславливает свойства готовых изделий.

В процессе автоклавной обработки лишь часть гидратной извести вступает в физико-химическое взаимодействие, образуя гидросиликат кальция — основное цементирующее вещество. Значительная часть гидратной извести остается свободной и при дальнейшем выдерживании изделий на воздухе в поверхностных слоях вступает в реакцию с углекислым газом воздуха, т. е. карбонизируется $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Остальная часть извести постепенно кристаллизуется, увеличивая со временем прочность изделий. Для ускорения твердения при запаривании в автоклаве в сырьевую смесь иногда добавляют небольшое количество сульфата натрия или магния.

В настоящее время изготавливают следующие силикатные изделия: известково-песчаный (силикатный) кирпич, водостойкие силикатные изделия (блоки, трубы и др.).

Известково-песчаный (силикатный) кирпич изготавливают из смеси чистого кварцевого песка, воздушной извести (5—8%) и воды (около 7%). Из такой смеси формуют сырьевые изделия, которые подвергают автоклавной обработке с последующим выдерживанием их на воздухе.

Песок должен быть чистым кварцевым, равномерным по зерновому составу, без зерен полевого шпата, слюды и гипса. Содержа-

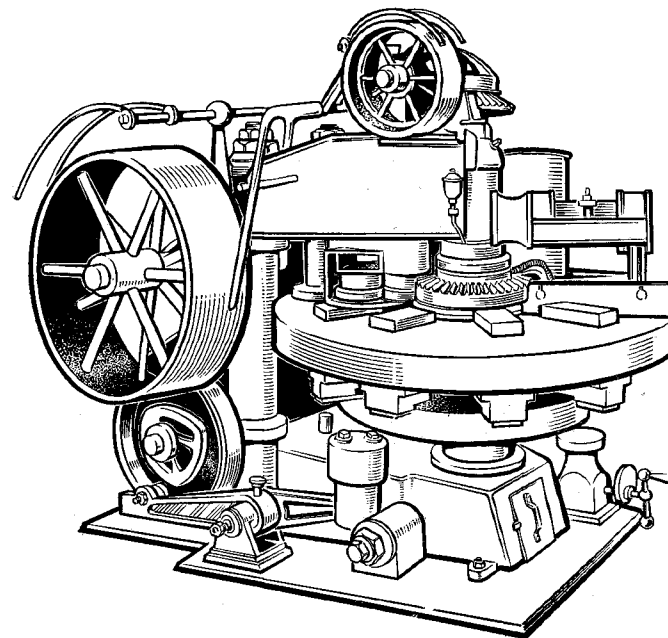


Рис. 115. Пресс для формовки силикатного кирпича

ние небольшого количества пылеватых зерен (менее 0,15 мм) является положительным признаком.

Смесь песка и воздушной извести подготавливают гидратным или сухим способом. При гидратном способе песок смешивают с гидратной известью в виде пушонки или известкового теста. Более распространен сухой способ. При этом способе в песок добавляют тонкомолотую негашеную известь и тщательно перемешивают в мешалках с ограниченным увлажнением смеси. Далее смесь транспортируют в специальные силосы, где она выдерживается 8—10 ч до полного гашения извести. При этом способе эффективно используется тепло, выделяемое при гидратации извести. Однако дополнительный подогрев паром смеси сокращает процесс силосования на 2—4 ч.

Сухую смесь можно приготовить в специальных вращающихся барабанах-гидраторах, в которых гашение извести протекает в течение примерно получаса. Подогретую смесь перемешивают (желательно ее пропустить через дезинтеграторы) и формуют кирпич на механических прессах с вращающимся столом (рис. 115). Сформованные сырьевые кирпичи осторожно загружают в специальные вагонетки для перемещения в автоклавы (рис. 116). В запарочных котлах (автоклавах) садка кирпича выдерживается при температуре примерно 175°С в течение около 10 ч (подъем давления до 8 кгс/см² — 1—2 ч, выдерживание при этом давлении около 8—9 ч и

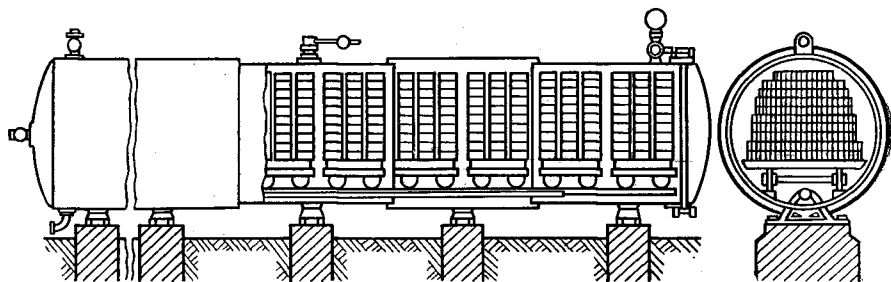


Рис. 116. Автоклав

пониженном давлении — 1,5 ч). После пропаривания готовый кирпич складывают в клетки и выдерживают на воздухе не менее двух недель.

Силикатный кирпич изготавливают размером $250 \times 120 \times 65$ мм или полутонный (толщиной 100 мм) марок 150, 100, 75; объемная масса кирпича — 1,8—1,9, водопоглощение — не более 16%, морозостойкость — 15. Стоимость силикатного кирпича примерно на 30% дешевле глиняного. Силикатный кирпич применяют для кладки наружных и внутренних несущих стен и столбов промышленных и жилых зданий.

Этот кирпич непригоден для кладки фундаментов (вследствие его малой водостойкости), а также для кладки печей и труб, так как при температуре выше 500°C он разрушается.

Введение в сырьевую смесь добавок тонкомолотого кварцевого песка или доменного гранулированного шлака около 10% с содержанием извести до 15% увеличивает прочность изделий.

По предложению К. Ф. Яковлева, по той же технологии изготавливают *известково-глинистые кирпичи*, в которых песок заменен тонкомолотым суглинком (или тяжелой супесью).

Если кварцевый песок в сырьевой смеси заменить доменным гранулированным шлаковым песком или золой бурых углей, можно получить *известково-шлаковые* или *известково-золенные* кирпичи или блоки (размером, например, $250 \times 120 \times 140$ мм и больше).

В последние годы для изготовления несущих, водостойких элементов конструкций по той же технологической схеме применяют более сложный состав шихты (например, кварцевый песок 50%, молотый песок до 35%, молотый гранулированный шлак 5%, известь-кипелку 15%, добавки двухводного гипса до 2% и хлористого кальция до 2%).

Такие изделия имеют прочность при сжатии 300—400 кгс/см², они морозостойки (Мрз 15) и водостойки.

Для изготовления крупных блоков и других элементов применяют известково-песчаные (силикатные) бетоны, в состав которых вводят заполнитель в виде гранулированного шлака, мелкодробленой шлаковой пемзы, керамзита, перлита и др.

Применяя прогрессивную технологию производства (тщательный подбор составляющих, введение необходимых добавок, принудительное перемешивание, виброуплотнение и др.), можно получить изделия из автоклавного силикатного бетона прочностью до 500—600 кгс/см². Силикатный бетон обладает достаточно хорошим сцеплением с арматурой (8—12 кгс/см²), что позволяет изготавливать армированный бетон.

Для защиты элементов сооружения из силикатного бетона (разной пористости) от воздействия атмосферной воды поверхность блоков обрабатывают защитными веществами (например, щелочным раствором этилсиликоната, пленкообразующими высокомолекулярными веществами).

§ 57. СИЛИКАТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Силикатные изделия (бетоны) — искусственные каменные материалы, полученные из тщательно перемешанной в дезинтеграторе смеси кварцевого песка, воздушной извести и небольшого количества воды. Смесь после механического уплотнения подвергают автоклавной обработке. Для получения силикатных изделий компоненты тщательно смешивают с одновременным измельчением песка в дезинтеграторе, а содержание извести доводят до 15%. Количество извести зависит от раздробленности песка. Так, по исследованиям В. К. Райдну, при удельной поверхности песка 200, 400, 500, 600, 800, 1000 см²/г содержание СаО от массы сухой смеси (известь + песок) соответственно должно быть 4, 8, 12, 16 и 20%. Однако в каждом отдельном случае в дозировании извести имеется предел, после которого прочность изделия не повышается.

Силикат-бетонные изделия после их уплотнения выдерживают в автоклаве при температуре не ниже 175°C и давлении 10 кгс/см² в течение 8—10 ч.

Наряду с плотными можно изготовить *пористые* и *ячеистые* силикат-бетонные изделия путем введения в песчано-известковую смесь добавок пено- или газообразователей, например клееканифольных мыл (пеносиликат-бетон) или алюминиевой пудры (газосиликат-бетон).

Таблица 50

Вид силикатных изделий	Объемная масса, г/см ³	Пористость, %	Морозостойкость	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²	Водопоглощение, %
Плотные	1,6—1,9	≤30	≤35	170—600	10—20
Пористые (пеносиликаты)	0,9—1,0	≤60	≤35	30—170	≤50

Свойства силикат-бетонных изделий приведены в табл. 50. Силикат-бетонные изделия можно изготавливать армированные. Из силикатных бетонов изготавливают стеновые и другие блоки разных размеров, панели и др.

§ 58. АСБОЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Асбоцементные изделия изготавливают из смеси волокнистого асбеста, цемента, воды, а в необходимых случаях и добавок. Такую тщательно перемешанную смесь после формовки пропаривают с последующим выдерживанием на складе.

В качестве составляющих для изготовления асбоцементных изделий применяют волокнистый хризотил-асбест (водный силикат магния) с длиной волокна от 22 до 8 мм и портландцемент марки 300—500, содержащий не менее 50% $3\text{CaOSi}_2\text{O}$ и 6—12% $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$.

Асбест обладает высокой сорбирующей способностью, энергично поглощая на поверхности волокон продукты гидролиза и гидратации цемента. Кроме того, он выполняет роль как бы арматуры, воспринимая в основном растягивающие напряжения.

Эти свойства асбеста обуславливают высокую прочность асбоцементных изделий при растяжении. В зависимости от вида асбоцементных изделий количество асбеста принимают в пределах 9—18%, а для труб до 20%.

Изготовление асбоцементных изделий состоит из следующих технологических процессов: распушивание асбеста вначале на бегунах, а затем в голендере (рис. 117) до возможно более тонких волокон; дальнейшее распушивание асбеста в специальной мешалке в смеси с цементом и водой с последующим разжижением смеси во-

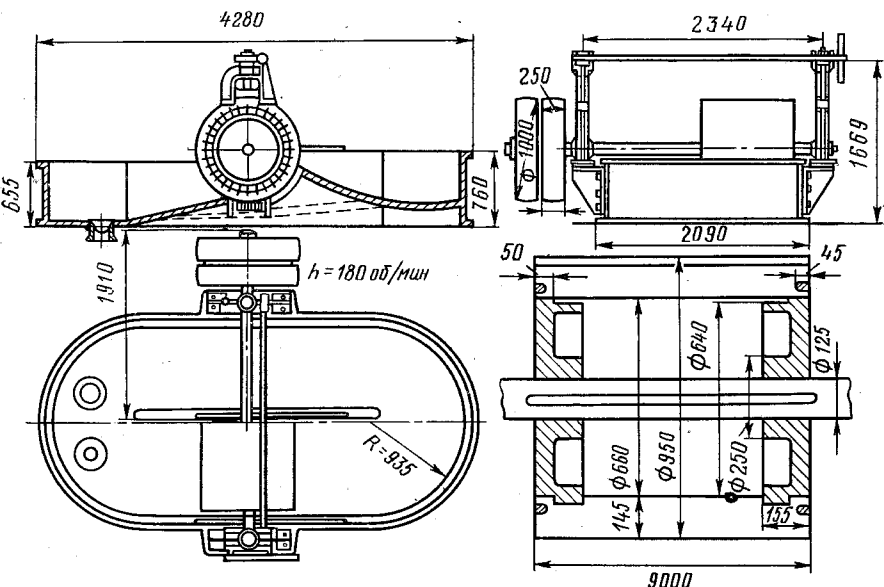


Рис. 117. Голендер

дой в металлической ванне; изготовление листовых изделий на формовочной машине (рис. 118); разрезание листа на плитки требуемых размеров, далее прессование на гидравлическом прессе, обрезка и пробивка отверстий для крепежа, пропаривание и выдерживание на складе в теплой среде в течение пяти — семи суток.

Для изготовления профилированных асбоцементных листов подготовленную смесь укладывают равномерным слоем в металлические формы и раскатывают при помощи скалок. Асбоцементные трубы изготавливают на специальных трубоформовочных машинах со съёмными форматными барабанами. Трубы больших диаметров до пропаривания выдерживают до двух суток, предварительно освобождая их от деревянных сердечников через 2—6 ч после изготовления.

Для ускорения процессов твердения асбоцементные изделия вместо пропаривания подвергают автоклавной обработке. В этом случае целесообразно вводить в смесь тонкомолотый песок или продукт тонкого помола портландцементного клинкера с кварцевым песком.

Асбоцементные изделия обладают высокой прочностью, морозостойкостью, огнестойкостью и малой водопроницаемостью. Кровельные материалы из них можно изготавливать цветными, вводя в смесь щелочестойкие пигменты, покрывать цветной глазурью.

Асбоцементные заводы выпускают следующие изделия: плитки кровельные плоские (рис. 119), листы профильные (рис. 120), листы облицовочные плоские, вентиляционные коробки, трубы водопроводные (напорные) и канализационные (безнапорные) и др. Стыки труб соединяют асбоцементными муфтами или делают трубы с монолитными раструбами.

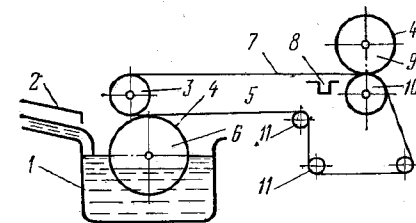


Рис. 118. Схема формовочной машины:

1 — металлическая ванна; 2 — желоб; 3 — прижимный вал; 4 — сетчатый барабан; 5 и 7 — лента-конвейер; 8 — вакуумная коробка; 9 — форматный барабан; 10 — опорный вал; 11 — наружные валики

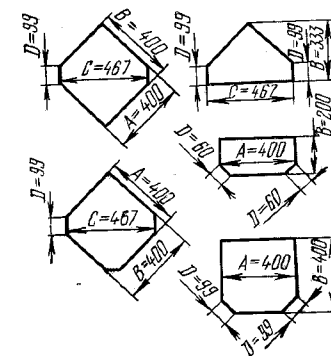


Рис. 119. Асбоцементные плитки

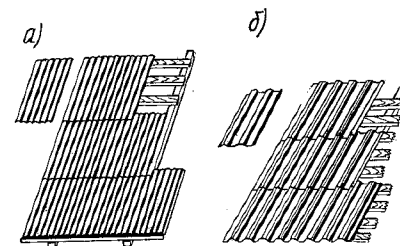


Рис. 120. Асбоцементные профильные листы:

а — обыкновенные волнистые; б — полуволнистые

Материалы и изделия из пластических масс

§ 60. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТМАСС

Пластическими массами называют материалы, содержащие в качестве важной составной части синтетические смолообразные высокомолекулярные вещества (полимеры) и обладающие пластичностью на определенных этапах их производства.

По количеству входящих в пластмассы компонентов их разделяют на простые и сложные. Простой называется пластмасса, состоящая только из одного связующего вещества — полимера, сложной — состоящая из полимера и других компонентов (наполнители, пластификаторы и др.).

Пластмассы обладают малой объемной массой при значительной прочности, большой химической стойкостью к коррозионным воздействиям, малой тепло- и электропроводностью, хорошими термо-, звуко-, гидро- и электроизоляционными свойствами. Некоторые пластмассы обладают хорошими клеящими свойствами, позволяющими использовать их для изготовления клеев и замазок. Отдельные простые пластмассы обладают способностью образовывать тонкие пленки и волокна.

Пластмассы можно отливать в формы, прессовать, штамповать в пластическом состоянии, продавливать через мундштуки машин для получения труб, брусков, реек и других погонажных материалов. Формование плит и листов из слоистых наполнителей (бумага, ткань), пропитанных смолами, осуществляется на многоступенчатых прессах. При всех этих способах получают законченные изделия, не требующие дополнительной обработки или отделки. Широкое применение пластмасс в технике обусловливается не только их положительными свойствами, но и тем, что их получают из недефицитного сырья: газа, торфа, побочных продуктов нефтяной и коксохимической промышленности и сельскохозяйственных отходов.

§ 61. СОСТАВ И СВОЙСТВА СВЯЗУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Полимеры — это вещества, состоящие из гигантских молекул, которые построены из множества связанных между собой атомов. Молекулярная масса полимеров колеблется от 10 до 50 тыс. углеродных ед. В большинстве случаев полимеры содержат многократно повторяющиеся структурные элементарные звенья (мономеры).

Название полимера обычно характеризует состав элементарного звена полимера, например полиэтилен, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ — этилен-мономер ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) n — полимер (где n является показателем степени полимеризации и может иметь значения до 70 000 и более).

Основная цепь обычно состоит из атомов углерода иногда с чередованием атомов кислорода, серы, азота, фосфора. В цепь полимеров могут быть введены атомы кремния, титана и др. В зависимости от элементов, входящих в состав основной цепи, полимеры раз-

Магнезиальные материалы изготавливают из смеси древесных опилок или стружек и каустического магнезита (или каустического доломита)¹, затворенных преимущественно раствором хлористого магния. После уплотнения магнезиальные материалы выдерживают до затвердевания в теплой среде.

Наиболее распространенными магнезиальными материалами являются ксилолит (в переводе с греческого языка — деревокамень) и фибролит (волокнистый камень).

Ксилолит изготавливают из смеси древесных опилок (сосны, ели, осины) и магнезиальных вяжущих в соотношении по объему 1:2 или 1:4 (на одну часть вяжущего две или четыре части опилок), затворяя раствором хлористого магния с плотностью около 1,2. В необходимых случаях в смесь добавляют минеральные краски (мумию, охра, железный сурик и др.). Для увеличения износостойкости ксилолита в смесь вводят до 20% асбеста, шлаковой ваты и др.

При устройстве ксилолитовых бесшовных полов и ступеней на подготовленное основание наносят в один-два слоя подготовленную смесь, постепенно уплотняют и после затвердевания в теплой среде выравнивают, затирают жидким магнезиальным тестом и шлифуют. Для увеличения водостойкости ксилолитовый пол после отделки примерно через месяц необходимо обработать олифой и натереть воском. Ксилолитовые полы можно устраивать и сборные из предварительно изготовленных плиток путем прессования массы под давлением до 300 кгс/см². Плитки укладывают на строительном растворе магнезиального цемента или портландцемента. Ксилолитовые плитки с наполнителем из дробленого мрамора или других цветных пород называют терраццо ксилолитом.

Из ксилолита, кроме полов, изготавливают подоконные плиты, отделяют стены. Ксилолит обладает объемной массой около 1,2, пределом прочности при сжатии 200—400 кгс/см², а прессованный около 600 кгс/см².

Фибролит изготавливают из древесных стружек (или растительной костры) с магнезиальным вяжущим, затворенным водным раствором хлористого магния. Из подготовленной смеси прессуют плиты, а затем их сушат. Плиты изготавливают размером 200×50, 200×70 и 150×50 см при толщине 5 и 10,7 см. Объемная масса фибролитовых изделий — 0,50—0,55, предел прочности при изгибе — не менее 10 кгс/см², влажность — не более 25%. Фибролитовые плиты применяют в качестве стенового, перегородочного и отопляющего материала. В качестве вяжущего для изготовления фибролитовых плит иногда применяют портландцемент, реже строительный гипс.

¹ Магнезиальные вяжущие обладают хорошим сцеплением с древесными материалами.

деляют на карбоцепные, основная цепь состоит из атомов углерода (полиэтилен, полипропилен, полистирол и др.), гетероцепные полимерные соединения, в состав основной цепи которых, кроме углерода, входят атомы кислорода, азота, серы (полиэфир, полиамиды и др.); элементо-органические полимерные соединения, в основную цепь макромолекул которых входят атомы кремния, алюминия, титана, никеля и других отсутствующих в составе природных органических соединений.

Если звенья в макромолекуле однородные, то такие полимеры называют *гомополимерами*, или просто *полимерами*. Полимеры, представляющие собой сочетание звеньев двух или трех различных типов, называются *гетерополимерами* или *сополимерами*.

Форма макромолекул, применяемых в производстве синтетических материалов, может быть линейной и сетчатой. Макромолекулы линейной структуры представляют собой совокупность мономерных звеньев, соединенных между собой химическими связями в длинные цепи. Между отдельными цепями макромолекул действуют межмолекулярные силы физической природы. Специфические свойства полимеров проявляются тем ярче, чем больше величина химической связи отличается от величины межмолекулярного взаимодействия. Чем больше межмолекулярное взаимодействие, тем меньше полимеры отличаются от низкомолекулярных соединений и их поведение более сходно с поведением твердого тела. Межмолекулярное взаимодействие достигает максимума в том случае, когда цепи макромолекул связаны между собой поперечными химическими связями, образованными атомами или группами атомов. Такие полимеры называются *сетчатыми*. Даже при редком расположении поперечных связей сетчатые полимеры не способны растворяться в органических растворителях, но набухают в них. Пластичность таких полимеров при повышенной температуре значительно меньше по сравнению с пластичностью линейных полимеров.

В качестве примера образования сетчатых (сшитых) полимеров можно указать на реакцию вулканизации каучука, при которой в результате действия серы происходит соединение отдельных цепочек между собой.

Высокомолекулярные соединения с линейной структурой макромолекул (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол) размягчаются при нагревании и снова отвердевают при охлаждении, т. е. являются *термопластичными* веществами. Такие полимеры набухают или растворяются в различных растворителях. Высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых имеют структуру пространственной сетки, представляют собой твердые, стекловидные, нерастворимые и неплавкие вещества. Материалы, способные к образованию молекул такого строения и отвердевающие при нагревании, называются *термореактивными*.

В зависимости от температуры полимеры могут находиться в стеклообразном, высокоэластичном или вязкотекучем состояниях. Переход из одного состояния в другое происходит постепенно в определенном интервале, определяемом температурой стеклования

T_c и температурой текучести T_t (рис. 121). При температуре стеклования T_c все макромолекулы, составляющие полимер, зафиксированы и при дальнейшем понижении температуры структура полимера уже не меняется. Следовательно, при температуре ниже T_c любой полимер становится твердым, а иногда и хрупким.

Чем больше молекулярная масса полимера, тем медленнее меняется подвижность его макромолекул под действием тепла и тем шире становится интервал перехода от стеклообразного к высокоэластичному состоянию. В стеклообразном состоянии в полимере появляются упругие деформации, которые мгновенно исчезают при снятии напряжения вследствие изменения внутренней энергии.

Высокоэластичная деформация, незаметная при температуре ниже T_c , становится весьма ощутимой при температурах выше T_c . Эта деформация, как и упругая, обратима, однако ее полное развитие несколько отстает от момента приложения нагрузки, и исчезновение ее происходит неодновременно со снятием нагрузки. Это явление (*релаксация*) обуславливается тем, что макромолекулярные цепи не успевают изменить свою форму мгновенно с изменением нагрузки; пластическая деформация уже заметна при температуре выше температуры T_c и является преобладающим видом деформации выше температуры текучести T_t .

Пластическая деформация не вызывает изменения внутренней энергии твердого тела, а поэтому не исчезает и после снятия напряжения. При пластической деформации макромолекулы скользят относительно друг друга и порядок их взаимного расположения может существенно меняться.

По исследованиям В. А. Каргина, температуры переходов полимеров из одного состояния в другое (T_c и T_t) являются основными характеристиками свойств полимеров. Поэтому определение температурной зависимости деформации полимеров в широком интервале температур является методом оценки основных технологических свойств полимеров.

По термомеханическим кривым можно установить, с какой молекулярной массы мономер переходит в полимер. Необходимо подчеркнуть, что не существует какого-либо определенного значения молекулярной массы, разделяющей высокополимеры и низкомолекулярные вещества. В каждом полимеромологическом ряду этот переход будет определяться характером сил взаимодействия между атомами в молекулах, т. е. величиной гибкости молекул.

По зависимости деформации — температура различных членов полимеромологического ряда линейных полимеров видно, что, начиная с некоторой молекулярной массы, возникает высокоэластич-

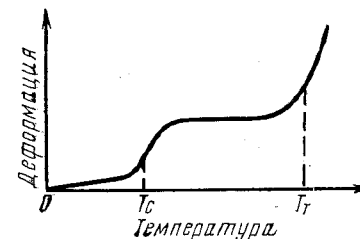


Рис. 121. Термомеханическая кривая синтетической смолы

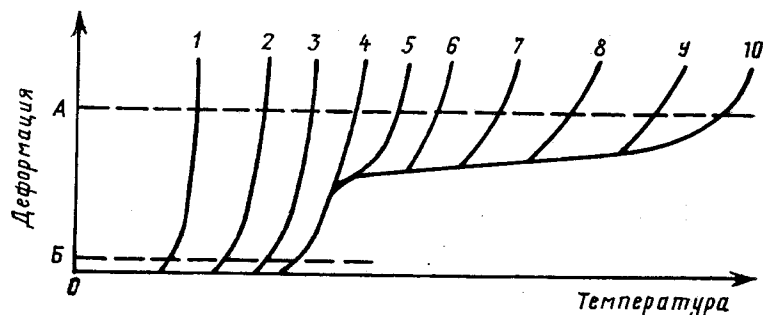


Рис. 122. Термомеханическая кривая ряда линейных полимергомологов. Цифры соответствуют степени их полимеризации

ное состояние. Представленная на рис. 122 схема деформации полимера в широком интервале температур является в известной степени идеализированной. Реально встречающиеся полимеры не всегда обнаруживают все три аморфных физических состояния вследствие слишком высоких значений T_c и T_m , превышающих температуру разложения полимера. Это и является причиной, что многие линейные полимеры встречаются только в стеклообразном и высокоэластичном состоянии, а нередко вообще только в стеклообразном (чистая целлюлоза и некоторые ее эфиры).

По способу получения различают смолы *полимеризационные* и *поликонденсационные*. Полимер, образующийся при реакции полимеризации, имеет молекулярную массу, равную сумме молекулярных масс реагирующих молекул мономера; при этом не образуются побочные продукты.

При поликонденсации макромолекулы образуются в результате химического взаимодействия между группами атомов, содержащихся в молекулах исходных веществ, причем это взаимодействие сопровождается образованием побочных продуктов — воды, хлористого водорода, аммиака и др.

К полимеризационным смолам относят полиэтиленовые, полистирольные, поливинилхлоридные и полиакрилатные; к поликонденсационным — фенолоформальдегидные, карбомидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические.

Полиэтилен — полимер с макромолекулами линейного строения. В качестве исходного сырья для его изготовления применяют газ этилен $CH_2=CH_2$, получаемый из попутных нефтяных газов, а также путем пиролиза и крекинга нефти.

По внешнему виду полиэтилен — это твердый, слегка просвечивающийся белого цвета материал, жирный на ощупь, легко режущийся ножом. Благодаря химической стойкости, механической прочности, морозостойкости, низкой газопроницаемости и водопоглощаемости, а также малой объемной массе полиэтилен широко применяют в ряде областей техники и в строительной промышленности.

Промышленностью выпускается полиэтилен I молекулярной массы 24—33 тыс. и полиэтилен II молекулярной массы — 33—46 тыс. кислородных ед.

При обычной температуре полиэтилен представляет собой высокоупругий материал, обладающий морозостойкостью при $-50^\circ C$ и ниже. При температуре выше $+60^\circ C$ он становится эластичным материалом, а при $110-115^\circ C$ приобретает пластичность. Величина относительного удлинения при разрыве, характеризующая упругость материала, достигает в интервале температур от -20 до $+50^\circ C$ максимума, равного для полиэтилена I — 500%, для полиэтилена II — 200%. Предел прочности при разрыве зависит от температуры (рис. 123).

Полиэтилен стоек к щелочам и кислотам (кроме азотной), водостоек и обладает высокими электроизоляционными свойствами. При обычной температуре полиэтилен нерастворим в органических растворителях, но набухает в бензине, бензоле. Полиэтилен обладает невысокой теплостойкостью, малой твердостью. На воздухе полиэтилен со временем стареет. Физико-механические свойства полиэтилена приведены в табл. 51.

При нагревании до $120^\circ C$ полиэтилен размягчается и становится мягким (как воск), поэтому из него легко изготовлять изделия пресованием, литьем под давлением, экструзией. В результате охлаждения после изготовления полиэтиленовые изделия дают усадку до 2—3%, что снижает возможность получения изделий с точными размерами. При вытягивании в нагретом состоянии в процессе экструзии у полиэтилена наблюдается ориентация молекул, что дает увеличение прочности при разрыве.

Полиэтиленовые трубы весьма стойки к агрессивной среде, хорошо поглощают шумы, возникающие при движении в них жидкости. Вследствие высокой морозостойкости полиэтилена полиэтиле-

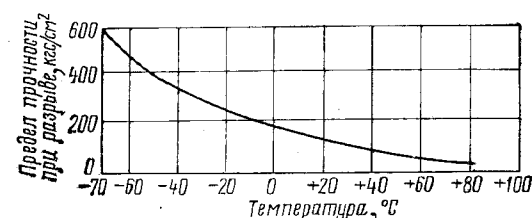


Рис. 123. Зависимость предела прочности при разрыве полиэтилена от температуры

Таблица 51

Показатели	Полиэтилен высокого давления	Полиэтилен низкого давления
Плотность, г/см ³	0,925	0,94—0,96
Предел прочности, кгс/см ² при:		
растяжении	130—160	320—400
сжатии	145	400—450
изгибе	170	450—600
Относительное удлинение при разрыве, %	150—250	≤900
Температура размягчения, °C	110—120	125
» хрупкости, °C	—70	—70

новая труба при замерзании воды не разрывается, как металлическая, а лишь незначительно деформируется. Предел прочности при растяжении полиэтиленовых труб равен 120 кгс/см² при удлинении на 200—350%.

Из полиэтилена изготавливают пленку путем непрерывного выдавливания его через кольцевую щель головки экструзионной машины с последующим раздуванием полученной горячей цилиндрической трубы сжатым воздухом. Пленка применяется как электроизоляционный материал в электротехнике, как упаковочный материал в пищевой, а также химической и строительной промышленности. Покрытие полиэтиленовой пленкой свежесложенного цементобетона улучшает его механические свойства. Полиэтилен ВД в зависимости от относительного удлинения при разрыве выпускают четырех марок: ПЭ-500, ПЭ-450, ПЭ-300 и ПЭ-150.

В настоящее время в строительстве начинают применять полипропилен и полиизобутилен, свойства которых сходны со свойствами полиэтилена.

Поливинилхлорид (ПВХ) получают полимеризацией хлористого винила. Полимеризацию производят многими способами, но преимущественно водно-эмульсионным и водно-суспензионным. Первым способом получают высокодисперсные порошки размером частиц менее 1 мк. Суспензионный ПВХ состоит из частиц крупностью от 0,01 до 0,3 мм, обладает большой теплостойкостью, морозостойкостью, а также диэлектрическими свойствами, благодаря чему широко используется для изоляции электрических кабелей.

Чистый непластифицированный ПВХ называется винипластом. Винипласт относится к аморфным полимерам; температура его стеклования 80°С. Выше этой температуры постепенно возрастает эластичность; при 170—180°С он переходит в пластическое состояние. Штамповку и изгиб листов в металлических штампах осуществляют при 130—140°С. Фасонные изделия изготавливают методом ударного прессования. Листовой винипласт применяют в производстве коррозионноустойчивых емкостей, плиток для полов, футеровок бетонных и металлических сооружений, труб, вентиля и т. д.

Винипласт характеризуется следующими свойствами: плотностью — 1,38 г/см³; предел прочности при сжатии — 300—1000 кгс/см², растяжении — 500 кгс/см², изгибе — 1000—1200 кгс/см²; ударная вязкость — 1200 кгс/см².

Поливинилхлорид хорошо совмещается с пластификаторами: дибутилфталатом, трикрезилфосфатом, образуя мягкие эластомеры. При увеличении количества пластификатора получают пастообразные массы. Среднее количество пластификатора в ПВХ — 30—60%. Пластифицированный поливинилхлорид применяется для производства покрытий, полов, стен, потолков, газоизоляционных пленок и др.

Полистирол — продукт полимеризации ненасыщенного углеводорода — стирола

$$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$$

Полистирол — широко известный и распространенный пластик. Он обладает хорошей водостойкостью, химической стойкостью, прозрачностью и легкостью переработки в изделия. Недостатками полистирола являются невысокая теплостойкость, горючесть и тенденция к растрескиванию при эксплуатации.

Полистирол перерабатывают в изделие главным образом способом литья под давлением в интервале 170—220°С и при давлении 200—800 кгс/см². Как аморфный полимер, полистирол при литье имеет усадку (примерно 0,4—0,6).

Полистирол обладает следующими свойствами: плотность — 1,06, предел прочности при статическом изгибе — не менее 850 кгс/см², ударная вязкость для I сорта — 18 и второго — 12 кгс/см².

Полистирол используют для производства декоративных стекол, плафонов и других архитектурных изделий, работающих в воде или в агрессивных жидкостях и предназначенных для освещения. Из полистирола изготавливают цветные облицовочные плитки для внутренних и внешних стен. На основе полистирола получают пенопласты, которые применяют в строительстве в тепло- и звукоизоляционных слоях.

Поливинилацетат — полимер винилацетата $\text{CH}_2=\text{CHOCOSCH}_3$ сложного эфира уксусной кислоты и винилового спирта $\text{CH}_2=\text{CH}=\text{OH}$ представляет собой бесцветную, легкоподвижную жидкость плотностью 1,191. Поливинилацетат — аморфный прозрачный стеклообразный продукт. Его молекулярная масса колеблется от 5000 до 500 000.

Поливинилацетат заметно набухает в воде и легко поддается действию сильных кислот и щелочей. При нагревании свыше 150°С он легко деполимеризуется с образованием уксусной кислоты, растворяется в спиртах, сложных эфирах, ароматических углеводородах и т. п.; он стоек к действию бензина, керосина и масел. Поливинилацетат обладает высокой адгезией к стеклу, коже, камням, поэтому он широко применяется в производстве эластичных, светостойких бесцветных лаков и клеев.

Поливинилацетатная эмульсия — продукт полимеризации винилацетата в водной среде. Эмульсия представляет собой сметанообразную жидкость, ее применяют в качестве пленкообразующего вещества в красках, как добавку к бетону для повышения износостойкости, сопротивления разрыву, а также для приготовления полимербетона.

Основные технические показатели поливинилацетатной эмульсии следующие: содержание мономера не более 2%, содержание сухого остатка — не менее 50%, содержание дибутилфталата в составе сухого остатка — 4—16%, pH эмульсии — 4,0—4,5.

Поливинилацетат — исходное сырье для получения поливинилового спирта и поливинилацетатов, которые применяют для изготовления бензостойких шлангов, синтетических волокон. Масляный ацеталь поливинилового спирта (бутираль) входит в состав клеев БФ-2, БФ-4, БФ-6 и др.

Полиакрилаты получают на основе производных акриловой $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ и метакриловой кислот $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOH}$. Они

представляют собой бесцветную прозрачную стекловидную массу, широко известную под названием *органического стекла* (*плексиглас*) и др. Метакриловые полимеры химически более стойки и более водостойки, чем акриловые.

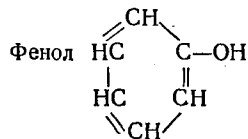
Полимеры в зависимости от их назначения получают с различной молекулярной массой. Так, молекулярная масса полиметилметакрилата (органическое стекло) выше 200 000, молекулярная масса пресс-порошков и порошков для литья под давлением от 40 000 до 200 000. Ценными техническими свойствами полиакрилатов являются их прозрачность и бесцветность, а также способность пропускать ультрафиолетовые лучи. Так, органическое стекло пропускает 73% ультрафиолетовых лучей, в то время как обычное силикатное только 0,6%. Физико-механические свойства полиметилметакрилата, полученного блочным способом, следующие: плотность — 1,18, предел прочности при сжатии — 1200—1600 кгс/см², при разрыве — 790 кгс/см², ударная вязкость — 15—20 кгс/см².

Органическое стекло подвергается механической обработке методом пластической и высокоэластичной деформации. Недостатками органического стекла являются его сравнительно низкая теплоустойчивость (80—100°С) и малая твердость.

Крупные изделия сферической формы изготовляют из листов органического стекла методом формирования. Более мелкие изделия несложной формы можно получить штамповкой заготовок из нагретого листа с последующей формовкой в пресс-формах при низком давлении или без формовки. Трубы и другие полые изделия изготовляют центробежным способом из подвижной массы, приготовленной растворением полимера в мономере.

В строительстве органическое стекло используют для изготовления прозрачных кровель, обрамления балконов и лестниц, устройства фонарей, декоративного оформления помещений.

Фенолоформальдегидные смолы получают поликонденсацией фенолов и формальдегида. Формальдегид $\text{H}-\text{C}(\text{H})=\text{O}$ газ, который растворяется в воде. Его применяют в виде водного 40-процентного раствора, известного под названием *формалин*.



белое кристаллическое вещество с характерным запахом, выделяется из каменноугольной или сланцевой смолы; синтетически получают из пропилена и бензола.

Фенолоформальдегидные смолы могут быть получены в виде резольных и новолачных.

Резольные (терморезактивные, бакелитовые) смолы получают поликонденсацией с избытком формальдегида при молекулярном соотношении фенола и формальдегида 5:6 или 6:7 в щелочной среде. Первоначальная смола плавится и растворяется в спирте и ацетоне (стадия А, резол).

Новолачные (термопластичные) смолы получают поликонденсацией при избытке фенола, например, при молекулярном соотношении фенола и формальдегида 6:5 или 7:6 и в кислой среде. Новолачная смола растворяется в спирте и ацетоне.

При введении в состав новолачной смолы дополнительного количества формальдегида в виде гексаметилентетрамина новолачную смолу можно перевести в резольную. При горячем прессовании новолачная смола переходит сначала в резол, а затем в резит, и отпрессованное изделие становится прочным, неплавким и нерастворимым.

На основе фенолоформальдегидных смол получают литые резины, пресс-порошки, прессовочные массы с волокнистым наполнителем, слоистые материалы, лаки и клеи.

Спиртовые растворы резольной смолы называются *бакелитовыми лаками*. Эти лаки применяются в качестве клея. С целью увеличения адгезии резольных смол к металлу, стеклу, древесине и другим материалам к фенольным смолам добавляют бутиральную (бутиловую) синтетическую смолу. Таким путем получают клеи БФ-2, БФ-4, БФ-6.

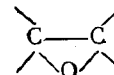
Кумароно-инденовые смолы — смесь продуктов полимеризации кумарона и индена. Исходным сырьем для получения смолы служит тяжелый бензол с плотностью 0,94, содержащий от 40 до 80% полимеризующихся веществ.

Кумароно-инденовые смолы имеют плотность 1,05—1,20; выпускают их в виде кусков или чешуек. Эти смолы при нагревании хорошо совмещаются с льняным, тунговым и талловыми маслами, с озокеритом, стеарином, а также с кубовыми остатками синтетических жирных кислот. Процесс модификации или пластификации необходимо проводить при температурах, не превышающих 200—220°С.

В зависимости от температуры размягчения и окраски кумароно-инденовые смолы выпускают шести типов (А, Б, В, Г, Д, Е) и пяти марок (табл. 52).

Для производства пластбетона могут быть применены смолы типов В, Г, Д, Е всех пяти марок, смешанные с пластификаторами.

Эпоксидные смолы получают при взаимодействии различных органических соединений, содержащих эпоксидную группу



с веществами, имеющими подвижной атом водорода (фенолами,

Таблица 52

Типы полимера	Температура размягчения, °С, не ниже	Окраска по колориметрической шкале				
		<35	35—100	100—376	376—1820	>1820
		Марки				
		I	II	III	IV	V
А	140	А/І	Светлая	—	—	—
Б	120	Б/І	Б/ІІ	—	—	—
В	105	В/І	В ІІ	—	—	—
Г	90	Г/І	Г/ІІ	Г/ІІІ	—	—
Д	75	—	—	Д/ІІІ	Д/ІV	Д/V
Е	60	—	—	—	Е/ІV	Е/V

спиртами, аминами). Благодаря эпоксидной группе такие смолы под действием отвердителя способны отверждаться, т. е. переходить из вязко-жидкого состояния в твердое. Этот процесс, заключающийся в образовании пространственной (сшитой) структуры полимера, не сопровождается выделением каких-либо побочных продуктов и может поэтому происходить без давления при комнатной или повышенной температуре.

Отвержденные эпоксидные смолы обладают хорошей адгезией к металлам, стеклу и другим материалам, включая многие виды пластмасс. Они обладают высокими механическими свойствами, хорошими диэлектрическими показателями, химической стойкостью и малой усадкой при отверждении. Поэтому они находят применение в строительной промышленности в качестве клеев, защитных покрытий, связующего для стеклопластиков. В качестве отвердителя чаще всего применяют фталевый ангидрид, мочевино-альдегидные смолы, фенолальдегидные смолы и др. (при горячем отверждении); при холодном отверждении — гексаметилендиамин, полиэтиленполиамины.

Низкомолекулярные смолы представляют собой вязкие жидкости, содержащие 14—24% эпоксигрупп. Они весьма реакционноспособны и отверждаются на холоде и при нагревании. Применяют их в качестве связующего для стеклопластиков, клеев и т. д.

Высокомолекулярные твердые смолы содержат 4—10% эпоксигрупп, отверждаются только при повышенных температурах (120—200°С), их применяют для замазок.

Наибольшее распространение получили жидкие эпоксидные смолы двух марок: ЭД-5 и ЭД-6. Смола ЭД-5 — вязкая жидкость светло-коричневого цвета, эпоксигрупп содержит не менее 20%, а летучих при 100—105°С — не более 2,5%. Время отверждения с гексаметилендиамином при 120°С не более 10 мин. Вязкость при 40°С не более 4500 спз. Смола ЭД-6 — прозрачная вязкая жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета. Эпоксигрупп содержит от 14 до 18%, а летучих при 100°С — не более 12%. Отверждение смол происходит при введении в них добавок отвердителей — полиэтиленполиаминов или гексаметилендиамина.

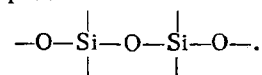
Отвержденные смолы ЭД-5 и ЭД-6 обладают следующими физико-механическими свойствами: плотность 1,20—1,23 г/см³, теплоустойчивость по Мартенсу 105—110°С, предел прочности при сжатии 1300—1600 кгс/см², при статическом изгибе — 1200—1300 кгс/см², при срезе — 650—750 кгс/см², при растяжении — 700—800 кгс/см², прочность клеевого шва при разрыве 450—750 кгс/см². Ударная вязкость 15—25 кгс·см/см². Коэффициент термического расширения 60·10⁻⁶.

Эпоксидные смолы хорошо смачивают стеклянное волокно, что обеспечивает прочную связь с ним благодаря наличию в смоле гидроксильных групп. Поэтому эти смолы используют как связующие для стеклопластиков. Недостатком чистых (ненаполненных и непластифицированных) эпоксидных смол и клеевых пленок является их хрупкость и высокий коэффициент линейного расширения, а также усадка при отверждении. В целях улучшения свойств эпоксидных материалов в их состав вводят наполнители и пластификаторы.

Эпоксидные смолы начали применять в дорожном строительстве для омоноличивания бетонных сооружений, приготовления пластобетона (за рубежом пластобетон на основе эпоксидной смолы называется «эпон-асфальт»), устройства слоев износа на дорогах.

Кремнийорганические смолы. В последние годы создана химия новых синтетических полимерных соединений. В цепи углеводородные звенья сочетаются с атомами, которые не содержатся в природных органических веществах. Разработаны методы получения кремний-, титано-, алюминий-, бороорганических и других соединений.

Наиболее подробно разработаны синтезы кремнийорганических соединений и условия их превращения в полимеры. Основная цепь маркомолекул кремнийорганических смол состоит не из атомов углерода, как у обычных синтетических смол, а из атомов кремния и кислорода. Наибольшее распространение получили полисилоксановые соединения, в которых атомы в основной цепи составлены из атомов кремния и кислорода.



Определенное применение находят и полисилоксановые соединения $\begin{array}{c} | \quad | \quad | \quad | \\ -Si-Si-Si-Si- \\ | \quad | \quad | \quad | \end{array}$. Это новые соединения, которых в природе

нет; они занимают промежуточное положение между органическими и неорганическими веществами, обладают свойствами тех и других.

Кремнийорганические соединения выпускают в виде твердой смолы или вязкой жидкости. Эти смолы служат связующим в пластмассах, ими пропитываются стеклоткани, на них приготавливают соединения с асбестом и др. Механическая прочность полисилоксановых смол мало изменяется в пределах температур от —50 до +350°С. На основе кремнийорганических полимеров создано много видов лаков и эмалей, применяющихся в качестве жаростойких и атмосферостойких покрытий, защищающих металлы от коррозии.

Гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости. Существует много способов придания гидрофобных свойств различным материалам. При применении кремнийорганических жидкостей в качестве гидрофобизирующих препаратов изделия по внешнему виду не изменяются, сохраняют свой цвет, газо- и воздухопроницаемость; материал выдерживает воздействие высоких температур (200° С и более). Гидрофобизирующая пленка не смывается водой, спиртами и органическими растворителями. При обработке различных материалов или изделий кремнийорганическими гидрофобизирующими жидкостями в результате взаимодействия активных групп кремнийорганических соединений с гидроксильными группами, входящими в состав материала, или с водой, адсорбированной на поверхности предметов, образуется защитная пленка.

Гидрофобность пленки обусловлена наличием органического радикала, связанного с кремнием, и определенной ориентацией кремнийорганических молекул в пленке: органический радикал ориентирован в сторону окружающей среды, а кремний и кислород (силоксанная связь) — к поверхности материала.

Для придания гидрофобности поверхности различных строительных материалов рекомендуется использовать кремнийорганические жидкости марок ГКЖ-10 и ГКЖ-11 (табл. 53). Эти жидкости не токсичны, не выделяют вредных паров и газов, удобны в обращении.

Перед нанесением раствора поверхность тщательно очищают металлическими щетками от пыли, грязи и коррозионных отложений.

Таблица 53

Марка жидкости	Структурная формула	Характеристика	Условия применения		
			Концентрация раствора, %	Температура, °С	Продолжительность, сут
ГКЖ-10	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ -\text{Si}-\text{O} \\ \\ \text{ONa} \end{array} \quad n$	Сухой остаток >15% Щелочность >3%	5-процентный водный раствор	120 18—20	1 ч 10 сут
ГКЖ-11	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{Si}-\text{O} \\ \\ \text{ONa} \end{array} \quad n$	Сухой остаток >15% Щелочность >3%	5-процентный водный раствор	120 18—20	1 ч 10 сут

Раствор наносят краскораспылителем или (при небольшом объеме работ) вручную кистью. Можно обрабатывать сухие, а также влажные поверхности. При обработке влажной поверхности концентрация водного раствора ГКЖ-10 должна быть увеличена в соответствии с влажностью поверхности. Обработку ведут в один слой по всей поверхности. Продолжительность сушки гидрофобизированной поверхности при температуре 18—20° С составляет 48 ч; в те-

чение этого времени изделия необходимо предохранять от увлажнения.

Гидрофобизированные детали укладывают в штабеля с прокладками толщиной не менее 10 см для свободной циркуляции воздуха, необходимого для завершения полимеризации, которая продолжается в течение 10 сут. Ускорить полимеризацию можно путем прогрева гидрофобизированной поверхности при 120° С в течение 1 ч.

Гидрофобизирующая способность жидкости ГКЖ-10 определяется по водопоглощению изделия, полученного из цементнопесчаного раствора (1:3). После 24-часового нахождения в воде водопоглощение не должно превышать 2%.

§ 62. НАПОЛНИТЕЛИ И ДРУГИЕ КОМПОНЕНТЫ

Наполнители, подобно заполнителям в бетонах, значительно удешевляют стоимость изделий. Кроме того, наполнители подобно заполнителям в керамических массах, строительных растворах и бетонах уменьшают усадку пластмасс при получении изделий и способствуют достижению большей точности их размеров. Наполнители вводят в состав пластической массы для экономии связующего и для увеличения прочности, так как они являются своеобразным механическим каркасом.

В качестве наполнителей для производства пластмасс применяются материалы органического или неорганического происхождения.

Органические наполнители. Главнейшими представителями органических наполнителей являются растительные волокна, состоящие главным образом из целлюлозы — хлопкового пуха и древесной муки. Древесная мука — один из самых распространенных наполнителей. Для ее изготовления используют различные отходы деревообработки. Древесная мука обычно применяется в составах пресспорошков типа фенопластов. Бумага — лучший наполнитель для изготовления слоистых пластиков с повышенными электроизоляционными свойствами. Ее применяют также для производства конструкционных пластмасс (например, гетинакс). Для производства текстолита применяются различные хлопчатобумажные ткани.

При изготовлении прессованных изделий иногда применяют бакелитовую муку, которую готовят путем измельчения отходов от производства фенопластов. Добавление в пресс-порошки до 10% по массе бакелитовой муки не ухудшает их свойств.

Неорганические наполнители. К неорганическим относят асбестовые наполнители, которые получают в результате переработки асбеста двух типов: хризотила и антофилита.

Для изготовления пластических масс применяют асбестовую бумагу в листах и рулонах. Асбестовую бумагу готовят главным образом из хризотила и применяют для изготовления слоистых пластиков. Антофилит применяют при изготовлении прессовочных или формовочных масс типа асбовинила. Введение асбеста в пресс-ком-

позицию повышает теплостойкость и водостойкость изделий, а также улучшает их электротехнические свойства.

Получаемое волокно характеризуется значительной гибкостью, приближающейся к гибкости растительных волокон. По сравнению с другими видами волокнистых материалов асбестовое волокно обладает высокой термостойкостью, малой гигроскопичностью и хорошими электроизоляционными свойствами. Стеклоанное волокно используют для изготовления пресс-композиций, создания стекловолокнистого анизотропного материала (СВАМ) и производства стеклотекстолита. При изготовлении пластмасс в качестве добавок применяют также и другие наполнители (тальк, каолин, молотую слюду, кварц и др.).

Соотношение между связующим веществом и наполнителем в пластических массах может колебаться в широких пределах. Так, при изготовлении древесностружечных пластмассовых плит смола составляет всего лишь 8—12%, а наполнитель — в среднем около 90%. Изделия, содержащие листовой или тканевый наполнитель, состоят из 15—60% смолы и соответственно 85—40% наполнителя. Полиэтиленовые трубы и пленки, полистирольные плитки, органическое стекло вообще не содержат наполнителя.

Пластификаторами в большинстве случаев являются маслянистые жидкости, которые вводят в состав пластмасс для увеличения гибкости материала в период эксплуатации и улучшения технологических свойств композиций на стадии формования изделий.

Действие пластификаторов сводится к проникновению молекул пластификатора между цепями полимера и уменьшению вследствие этого сил взаимодействия. К недостаткам действия пластификаторов относят понижение температуры текучести полимера и возможность постепенного испарения пластификатора. Для того чтобы полимерные материалы с пластификатором сохраняли приобретенные свойства, последние должны быть нелетучими (температура кипения должна быть не ниже 250°С), негигроскопичными, свето- и водостойкими.

К числу наиболее распространенных пластификаторов относятся сложные эфиры (дибутилфталат, диоктилфталат и др.), представляющие собой бесцветные или слабоокрашенные маслянистые жидкости, а также талловое, тунговое, диэновое, касторовое, веретенное масла.

Отвердители применяют для перевода ряда смол в неплавкое и нерастворимое состояние или для ускорения процессов отверждения термореактивных смол.

В зависимости от вида смолы и режима отверждения (горячего или холодного) применяют те или иные отвердители — кислоты, ангидриды, перекиси, спирты, амины. Кроме перечисленных компонентов, в состав пластмасс могут входить вещества, повышающие стойкость пластмасс к старению под влиянием кислорода и солнечных лучей (антиоксиданты), защищающие пластмассы от действия плесени и бактерий (фунгисиды), а также растворители, пигменты.

Пластические массы обладают рядом важных физико-механических и химических свойств, определяющих их использование в народном хозяйстве. Плотность пластмасс колеблется от 1,0 до 2,2 г/см³. Имеются пластмассы, обладающие очень малой объемной массой (0,01 т/м³). Это так называемые газонаполненные пластмассы (пенопласты и поропласты).

Антикоррозийная стойкость. Пластмассы как диэлектрики совершенно не подвергаются коррозии и очень стойки при воздействии различных химических агрессивных сред. На многие пластмассы не действуют слабые кислоты и слабые щелочи; имеются пластмассы, стойкие к воздействию даже концентрированных кислот и щелочей.

Теплоизоляционные свойства. Все пластмассы, как правило, плохо проводят тепло; их коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,3—0,4$ ккал/м·ч·град. Пено- и поропласты обладают еще более низкой теплопроводностью ($\lambda = 0,06—0,03$), поэтому их широко применяют в качестве теплоизолирующих материалов.

Адгезионные свойства. На основе синтетических полимеров изготавливают клеи для склеивания металлов, древесины, силикатных и других материалов. Клеи этого типа можно применять для горячего и холодного отверждения. Например, клеи на основе эпоксидных смол обладают прочностью при растяжении (при склейке металлов) до 300—400 кгс/см². В строительной промышленности в настоящее время широко изготавливают клеевые соединения, по прочности равные цельной древесине.

Цвет. Пластмассы хорошо окрашиваются в любые цвета. При использовании стойких красителей они долго сохраняют свой внешний вид. Хорошая окрашиваемость пластмасс по всей толщине изделия позволяет избежать периодических покрасок, снижает эксплуатационные расходы при их применении.

Прочность. Пластмассы обладают высокими показателями механической прочности. Так, пластмассы с порошкообразными и волокнистыми наполнителями имеют предел прочности при сжатии от 1200 до 1600 кгс/см², а предел прочности при изгибе — от 400 до 600 кгс/см². Прочность при разрыве пластмасс с такими листообразными наполнителями, как текстолит, достигает 1500 кгс/см² и у стекловолокнистого анизотропного материала (СВАМ) — от 4800 до 9500 кгс/см².

Ползучесть. Пластмассы обладают повышенной ползучестью — медленно развивающимся пластическим течением под нагрузкой. Даже наполненные пластмассы подвержены ползучести в гораздо большей степени, чем цементобетоны, металлы и другие материалы. Повышенная ползучесть пластмасс является сдерживающим фактором на пути более широкого их использования в несущих конструкциях.

Коэффициент конструктивного качества (величина, получаемая от деления показателя прочности материала на его объемную мас-

су) у пластмасс весьма велик. Так, для кирпичной кладки он равен 0,02, для бетона — около 0,06, для стали — 0,51, у текстолита — 2,0 и у СВМ — 2,2.

Технологические свойства. Пластмассы обладают высокой пластичностью. Это свойство позволяет получать многие пластмассы в виде тончайших нитей и применять для переработки их в изделия наиболее совершенные методы, исключая образование отходов. К этим методам переработки относятся: литье, прессование под давлением, формование с применением невысокого давления или вакуума.

Имеется большая группа пластмасс, которые можно сваривать между собой. Таким образом, изготавливают трубы сложной формы, бункера, емкости и др. Сварку производят с помощью простейших приспособлений горячим газом при температуре 150—250°С.

Недостатки пластмасс. Как все материалы органического происхождения, пластмассы обладают сравнительно невысокой теплоустойчивостью. Эксплуатационная температура пластмасс до последнего времени не превышала 80—150°С. Только некоторые из них, например кремнийорганические, политетрафторэтиленовые, могут работать при температуре до 350°С. Пластмассы обладают малой поверхностной твердостью. Например, у полистирольных и акриловых пластмасс твердость по Бринеллю находится в пределах 15 кгс/мм², у текстолита — 35 кгс/мм². Наиболее низкой твердостью обладают пластмассы на основе целлюлозы. К числу недостатков многих пластмасс относится способность поглощать воду и набухать, что влечет за собой увеличение размеров и уменьшение механической прочности.

К недостаткам пластмасс может быть отнесен их высокий коэффициент термического расширения, который колеблется в пределах 25—120·10⁻⁶.

Пластмассы со временем стареют, т. е. происходит постепенное их разрушение (деструкция) или ухудшение качественных показателей, например, увеличение жесткости, хрупкости, снижение прочности и поверхностной твердости, появление мягкости, липкости, потемнение и т. п.

Старение следует рассматривать как весьма сложный процесс, включающий окисление, фазовые переходы, активизированный внешними факторами самораспад макромолекул.

§ 64. ПОЛИМЕРЦЕМЕНТОБЕТОН

Полимерцементобетон представляет собой искусственный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси щебня, песка, цемента, воды и полимерной добавки. В качестве полимерной добавки могут быть приняты каучуки, дивинильный и дивинилстирольный поливинилацетат, поливинилхлорид, а также фенолоформальдегидные, полиэфирные, кремнийорганические смолы.

В настоящее время в полимербетонах находят все большее применение водные дисперсии полимеров-эмульсии и прежде всего поливинилацетатная эмульсия.

Полимерцементобетоны обладают рядом характерных для бетонов свойств. Однако от обычных цементобетонов они отличаются значительно более высокой прочностью при растяжении и изгибе, повышенным сцеплением со многими строительными материалами, высокой водонепроницаемостью, износостойкостью и устойчивостью к слабым агрессивным реагентам.

Микроскопические исследования структуры поливинилацетатцементных бетонов показали, что сросшиеся кристаллы новообразований создают кристаллизационную структуру. Жесткий пространственный скелет укреплен в ослабленных дефектных точках (трещинах, порах) скопившимся полимером, что приводит к упрочнению материала и повышению его эластичности благодаря соединению блоков сросшихся кристаллов более гибкими частицами полимеров.

Соотношение между количеством полимера и цемента называется полимерцементным фактором P/C . Для поливинилацетатной эмульсии P/C принимается, как правило, равным 0,2. С повышением P/C прочность образцов полимерцементобетона при сжатии, растяжении и изгибе возрастает до определенного предела (рис. 124). Предел прочности при сжатии полимерцементобетона на поливинилацетатной эмульсии достигает максимума при $P/C=0,4$. Соотношение между весовыми количествами цемента и наполнителя в полимерцементобетонах может быть в пределах 1:3—1:4.

Полимерцементобетон с оптимальным количеством поливинилацетатной эмульсии обладает прочностью при сжатии в 2—3 раза выше, чем образцы из цементного раствора воздушного хранения, а предел прочности при растяжении бетона в 5 раз. Сопротивление истиранию по сравнению с пластичным бетоном увеличивается в 8 раз. Сцепление с арматурой резко увеличивается, а сцепление полимербетона с затвердевшим (старым) бетоном достигает 37 кгс/см².

Вместе с тем прочность полимербетона на поливинилацетатной эмульсии существенно понижается во влажном состоянии (табл. 54).

Приготовление полимерцементной смеси осуществляется в обычных бетономешалках с принудительным перемешиванием в такой последовательности. Водная дисперсия полимера тщательно пере-

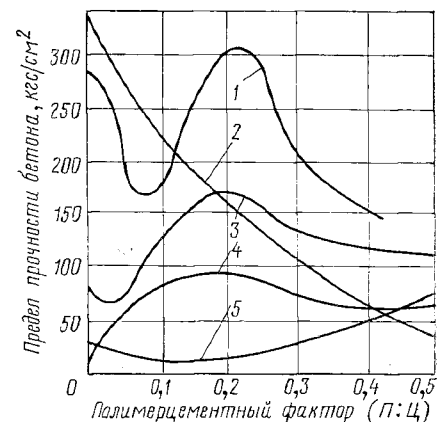


Рис. 124. Зависимость прочности полимерцементных бетонов от P/C через 28 суток:

1 — при сжатии (воздушносухое хранение);
2 — то же (влажное хранение); 3 — при изгибе (воздушносухое хранение); 4 — при растяжении (воздушносухое хранение);
5 — то же (воздушное хранение)

Таблица 54

Составы	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²		Предел прочности при изгибе, кгс/см ²		Водопоглощение, %
	Сухих	После выдерживания в воде трое суток	Сухих	После выдерживания в воде трое суток	
Бетон 1:3	290	294	40,2	41,4	4,9
Полимербетон на поливинилацетатной эмульсии (1:3) при П/Ц=0,2	312	193	125	49,5	2,4

мешивается с цементом и необходимым количеством воды. Затем в бетономешалку добавляют остальные компоненты (песок, щебень) и тщательно перемешивают. Уплотняют полимерцементные смеси вибрированием, укаткой и другими способами.

Полимерцементные материалы применяют для устройства покрытий в помещениях. Полимерцементные полы устраивают однослойные, двухслойные и многослойные; чаще устраивают однослойные покрытия толщиной 3—10 мм, укладываемые на бетонное или другое прочное основание в один прием. Для изготовления твердых и высокопрочных полов применяют поливинилацетат, а для гибких и упругих полов — каучуковые латексы. В качестве заполнителей используют гранитный или мраморный щебень, песок. Для теплых полов в качестве заполнителей применяют пробку, опилки.

Полимерцементные составы могут применяться для исправления дефектов в бетонных, железобетонных конструкциях, фундаментах.

§ 65. ПЛАСТОБЕТОНЫ НА ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СМОЛАХ

Пластобетон — это специальный бетон, вяжущим в котором является синтетическая смола, а заполнителем — щебень, песок и тонкомолотый минеральный наполнитель. В качестве вяжущего в пластобетоне наибольшее применение нашли эпоксидные, фурановые, полиэфирные, фенолоформальдегидные смолы. Получение прочного монолитного бетона происходит лишь при помощи отвердителей, которые переводят смолу в термостабильное состояние.

Свойства пластобетонов по ряду показателей аналогичны свойствам обычных цементобетонов, но обладают повышенной прочностью на растяжение и изгиб, морозостойкостью, износоустойчивостью, непроницаемостью для жидкостей и газов, а также высокой химической стойкостью.

Наряду с этим пластобетоны на основе большинства перечисленных смол характеризуются повышенной деформативностью, невысокой термостойкостью и иногда ограниченной водостойкостью.

Материалы. В качестве вяжущего применяют эпоксидные, фурановые, полиэфирные, фенолоформальдегидные смолы. Для пластобетонов применяют жидкие эпоксидные смолы марок ЭД-5, ЭД-6, Э-40, ЭДФ-3, ненасыщенные полиэфирные: полиэфирмалеинаты ПН-1 и ПН-2, полиэфиракрилаты МГФ-9, ТГМ-3 и ТГМФ-11.

Минеральные материалы для приготовления пластобетона подбирают таким образом, чтобы между вяжущим и заполнителем исключить возможные нежелательные химические реакции в зоне контакта органической и минеральной фаз. Для пластобетонов на полиэфирах и эпоксидных смолах пригодны заполнители из кислотостойких горных пород, карбонатных пород, асбеста, талька, баритов. В табл. 55 приведены сравнительные испытания прочности пластобетонов на мономере ФА (фурфурол-ацетоновый мономер), изготовленных на андезитовом, графитовом и кварцевом заполнителях.

Таблица 55

Заполнитель	Количество мономера ФА, % от массы заполнителя	Количество БСК, % от массы ФА	Прочность при сжатии, кгс/см ² , в возрасте			
			7 сут	23 сут	3 мес	6 мес
Андезитовая мука	25	30	1095	1169	1145	1363
Графитовая мука	45	30	412	—	473	—
Кварцевый песок	15	25	332	342	301	298

Примечания: 1. После распалубки образцы прогревались в течение 5 ч при температуре 80° С. Хранились образцы при нормальной температуре в воздушно-сухой среде. 2. БСК — бензосульфокислота.

Свойства пластобетонов. Расход смолы в пластобетоне, к которому предъявляются требования по плотности и прочности, определяется пустотностью заполнителей и их крупностью. При нехватке вяжущего межзерновая пустотность не будет им заполнена, что отрицательно скажется на прочности и плотности пластобетона. При избытке в пластобетоне вяжущего с увеличением межзерновых прослоек полимера прочность пластобетона падает или же ее рост непропорционально меньше увеличения расхода вяжущего (рис. 125).

Существенное влияние на прочность пластобетона оказывает режим твердения. Существуют два способа отверждения пластобетона: «на холоде» (при нормальной температуре) и «горячее» (при кратковременном сухом

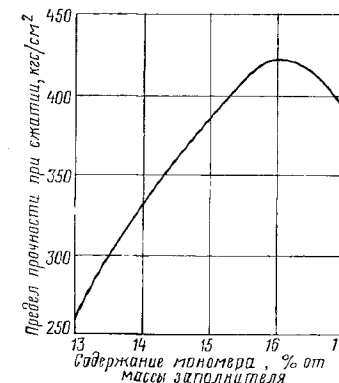


Рис. 125. Изменение прочности пластобетона в зависимости от содержания мономера ФА

перегреве). Опыты с пластобетоном на мономере ФА, подвергнутом различному режиму термообработки, показывают, что при кратковременном тепловом прогреве получается пластобетон более прочный, чем пластобетон, твердевший при 18—20°С (табл. 56).

Таблица 56

Образцы	Время прогрева, ч	Температура прогрева, °С			
		60	80	100	120
		Предел прочности при сжатии, кгс/см ²			
Подвергнутые термообработке	1	—	—	313	324
	2	350	471	301	317
	3	—	—	343	365
	4	391	476	398	335
	5	—	—	381	—
	6	400	454	—	—
	8	452	543	—	—
	10	456	542	—	—
Контрольные через 28 сут нормально-го твердения	—	340	335	358	330

Плотная структура пластобетонов обычно обеспечивает высокую морозостойкость. Так, пластобетоны на мономере ФА, изготовленные на кварцевом песке и гранитном щебне с добавкой 16% мономера ФА (от заполнителя) и 30% БСК (от массы мономера ФА), после предварительного месячного выдерживания на воздухе подверглись циклическому испытанию на замораживание (—18°С) и оттаивание в воде. При этом понижение прочности в сравнении с контрольными образцами, хранившимися в воде, наблюдалось лишь после 300 циклов замораживания (табл. 57).

Таблица 57

Количество циклов замораживания	Общее время испытания на морозостойкости, сут	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²		
		после замораживания	при выдерживании в воде	при выдерживании в воздухе
50	23	624	557	618
100	45	528	525	611
200	150	385	383	575
300	180	298	373	568

Пластобетоны на термореактивных смолах в отличие от цементобетонов обладают повышенной усадкой, ползучестью, более низким модулем упругости. Бетоны на мономере ФА, эпоксидных и полиэфирных смолах испытывают сильную усадку в течение первых суток твердения. В возрасте одного года пластобетоны на мономере ФА имеют усадку около 0,6 мм/м. Пластобетон на мономере ФА

можно армировать металлом (сцепление со стальной арматурой 110—130 кгс/см²), стекловолокном, древесиной.

Поверхность цементобетона прочно связывается с пластобетоном. Это позволяет вести укладку бетона и пластобетона в тело одной и той же конструкции. В сжатой зоне может быть уложен менее дорогой бетон, а в растянутой — пластобетон, хорошо работающий на растяжение.

Пластобетон может быть применен для устройства дорожных покрытий. Этот материал легче переносит колебание температуры благодаря более высокому (в 5—10 раз) сопротивлению при растяжении и в то же время он более пластичен. Покрытие из пластобетона спустя 24 ч после начала работ готово для эксплуатации.

§ 66. ПЛАСТОБЕТОНЫ НА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ СМОЛАХ (ЦВЕТНЫЕ ПЛАСТОБЕТОНЫ)

Пластобетоны на термопластичных смолах представляют собой искусственный материал, в котором щебень, песок, минеральный порошок и пигменты соединены в монолит пластифицированной синтетической смолой, инден-кумароновой, нефтеполимерной, глифталевой и др.

По ряду физико-механических свойств цветные пластобетоны приближаются к горячим асфальтобетонам, но обладают несколько меньшей теплостойкостью, переходят в хрупкое состояние при более высокой температуре. Необратимые процессы, приводящие к потере пластичности в пластобетоне, протекают быстрее, чем в асфальтобетоне, что объясняется меньшей стабильностью вяжущего.

Компоненты пластобетона. Наиболее широкое применение в качестве вяжущего для приготовления цветных пластобетонов нашли инден-кумароновая и нефтеполимерная смолы. Для цветного пластобетона наиболее применимы смолы I и II марок, они прозрачны, температуры размягчения находятся в пределах 80—100°С.

Нефтеполимерные смолы получают путем полимеризации некоторых фракций смолы пиролиза. Для придания необходимых свойств применяемые смолы пластифицируют. Для инден-кумароновых смол этим требованиям отвечают следующие пластификаторы: дибутилфталат, талловое, диэновое, антраценовое масло. Для нефтеполимерных смол в качестве пластификаторов обычно принимают продукты нефтяного происхождения — деасфальтизаты и экстракты селективной очистки. Для получения пластифицированной смолы, пригодной для приготовления пластобетона, необходимо в инден-кумароновую смолу вводить 15—20% пластификатора, что снижает температуру размягчения смолы до 40—45°С.

Свойства пластифицированных нефтеполимерных смол, пригодных для приготовления цветных пластобетонов, приведены в табл. 58.

Красители (пигменты). Основные требования, которым должны удовлетворять красители для придания пластобетону яркой и долговечной окраски, следующие: яркий и чистый цвет, высокая диспер-

Показатели	Марка пластифицированных нефтенолимерных смол		
	90/130	60/90	40/60
Глубина проникания иглы при: 25° С	92—128	70—90	44—55
0° С	38—54	28—38	18—21
Растяжимость при 25° С, см	35—68	22—78	25—70
Температура размягчения по К и Ш, °С	41—55	43—56	45—58
Температура хрупкости по Фраасу	—12÷20	—12÷18	—10÷15
Когезия, кгс/см ²	0,7—1,9	1,1—2,0	1,1—2,1
Температура вспышки, °С	210—220	220—250	220—250
Вязкость по вискозиметру С ⁵ ₁₀₀ , с	4—6	8—10	10—12

сность и хорошая укрывистость, т. е. способность при меньшем расходе пигмента обеспечить окраску большей поверхности окрашиваемого материала, высокая термическая и светостабильность, так как этим определяется сохранение пигментом цвета при приготовлении пластобетонных смесей и долговечность сохранения яркой окраски покрытием.

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют свинцовый и железный сурик (красный), крон желтый, окись хрома (зеленая), двуокись титана (белая), цинковые белила и др.

Минеральные составляющие смеси — щебень, песок и минеральный порошок должны быть светлых тонов. В остальном требования к ним не отличаются от требований к минеральным материалам, предназначенным для приготовления горячих асфальтобетонных смесей.

Цветная пластобетонная смесь может быть приготовлена в асфальтобетонных установках с принудительным перемешиванием. Нагрев всех материалов при приготовлении пластобетонной смеси не должен превышать 120° С.

Укладку пластобетонной смеси осуществляют на плотное, прочное основание. Смесь уплотняют ручным катком (250 кг), а затем (при 50—60° С) пятью-шестью проходами пятитонного катка по одному следу.

Расход материалов на 1 м³ пластобетона может быть ориентировочно следующий: мраморный щебень мельче 15 мм — 1800 кг; чистый кварцевый песок — 400 кг; минеральный порошок — 220 кг; пигмент — 30 кг; трансформаторное масло — 180 кг; дибутилфталат — 50 кг; кумароновая смола — 130 кг.

Цветной пластобетон можно применять для устройства разделительных полос проезжей части автомобильных дорог, пешеходных дорожек, островков безопасности, остановочных площадок городского транспорта и др.

Для обустройства автомобильных дорог путем установки километровых столбов, указательных знаков, ограждающих устройств и постройки павильонов на остановках автобусов широко применяют стеклопластики.

Стеклопластики — это пластические массы, связующим веществом которых являются синтетические смолы, а наполнителем или армирующим материалом, придающим повышенную прочность, — стеклянное волокно. Наряду с применением для производства стеклопластиков синтетических смол, которые отвердевают при нагревании, используют также смолы, отвердевающие на холоде, не выделяя при этом побочных газообразных продуктов.

Способность отвердевать на холоде позволяет изготавливать изделия больших размеров при обычной температуре и без давления или при небольшом давлении. К числу материалов контактного формования принадлежит стеклопластики на основе ненасыщенных полиэфирных и эпоксидных смол.

Стеклопластики на основе других связующих — фенолоальдегидных, кремнийорганических, карбамидных и других смол — требуют для переработки в изделия высоких температур (до 170° С и выше) и давлений (25—100 кгс/см²). Стеклянные волокна по сравнению с другими синтетическими и натуральными волокнами имеют повышенную прочность на разрыв, химическую стойкость и негорючесть.

Прочность на разрыв различных искусственных и природных волокон следующая:

Волокна из плавленного кварца	800—1000 кгс/мм ²
Стекловолокно	до 250 »
Нейлон	40—70 »
Натуральный шелк	30—55 »
Хлопок	40—65 »

Прочность стеклянного волокна зависит от диаметра волокон: при уменьшении диаметра от 20 до 2 мм прочность на разрыв возрастает в 10 раз.

Наиболее прогрессивным и дешевым способом производства стеклопластиков является применение в качестве наполнителя однонаправленного шпона.

Стеклошпон получают из элементарных волокон, которые выходят из фильер печи, смачиваются жидкой синтетической смолой и наматываются на барабан. После намотки определенного количества на барабан полученный стеклошпон срезают с барабана и подсушивают. В результате получают стеклошпон с однонаправленным волокном.

При производстве стеклопластиков наиболее широко применяют ненасыщенные полиэфирные смолы, которые полимеризуются без отщепления воды. Они могут применяться для изготовления крупногабаритных изделий или изделий сложной конструкции.

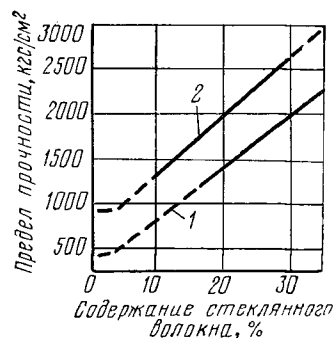


Рис. 126. Зависимость прочности стеклопластиков от содержания стеклянного волокна: 1 — при статическом изгибе; 2 — при растяжении

ционный и электроизоляционный материал в самолето-, машино- и кораблестроении, электро- и радиотехнике.

Стекловолокниты — пластики на основе стекловолокна в виде войлока (литьевые или прессовочные материалы, например, АГ-48 на основе модифицированной фенолоформальдегидной смолы). Стекловолокнит применяют для изготовления деталей высокой прочности способом горячего прессования в пресс-формах. Связующим для стекловолокнитов служат обычные термореактивные смолы. На рис. 126 показана зависимость прочности стеклопластика от содержания стеклянного волокна.

В последнее время начали изготавливать светопрозрачные стеклопластики на основе стекломатов из рубленого волокна, пропитанного полиэфирными смолами. Содержание стекловолокна в них — 25—30%. Предел прочности их при растяжении составляет 700—1000 кгс/см² при модуле упругости до 80 000—100 000 кгс/см². Такие стеклопластики используют для светопрозрачных участков стен и кровель, для емкостей и иных конструкций, работающих в условиях химической агрессии.

Стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ) получают из стеклянного волокна и синтетических смол. Технология изготовления этого материала состоит в ориентации стеклянных волокон в смоле путем параллельной укладки волокон при одновременном нанесении на них связующего. Метод покрытия волокон смолой непосредственно после выхода их из фильер позволяет отказаться от защиты волокон от действия влаги воздуха.

Листовой стеклопластик (стеклофанеру) получают горячим прессованием стеклошпона. Толщина и прочность такого стеклопластика зависят от диаметра элементарного волокна, количества и толщины листов стеклошпона и расположения волокон.

СВАМ при соотношении продольных и поперечных волокон 1:1 и оптимальном содержании волокна в материале обладает объемной

массой 1,9 т/м³, пределом прочности при сжатии 4200 кгс/см² и при растяжении 4800 кгс/см².

Из стеклопластиков изготавливают крупноразмерные панели для стен, плиты для перекрытий, волнистые светопрозрачные листы для кровель, плоские листы с декоративной отделкой для перегородок.

В СССР и за рубежом изучается возможность применения стеклопластиков в качестве арматуры для цементобетона. Как показали исследования последних лет, стеклопластиковая арматура может быть следующих видов: а) изготавливаемая по непрерывному способу в виде гладких стержней периодического профиля; б) изготавливаемая по способу горячего прессования в виде лент периодического профиля; в) получаемая путем навивки стекловолокна на готовое изделие (трубу, балку) с последующим покрытием смолами и полимеризацией их.

Стеклопластиковая арматура, получаемая непрерывным способом в виде бухт, по прочности близка к высокосортным сталям. Так, арматура, изготовленная ЮЖНИИ, имеет предел прочности при растяжении 13 000—14 500 кгс/см², модуль упругости 450 000—500 000 кгс/см², сцепление с бетоном 70 кгс/см².

Однако предварительные данные исследования прочности и деформативности стеклопластиковой арматуры показывают, что при выдержке под нагрузкой в течение длительного времени прочность ее снижается примерно на 15—30%. Это зависит от вида стекловолокна и связующего. Установлено также, что смолы не в состоянии полностью защищать стекловолокно от окружающей среды. Поэтому конструкции с такой арматурой не рекомендуется подвергать автоклавной обработке и пропариванию при температуре выше 60°С. Можно полагать, что стеклопластиковая арматура в недалеком будущем сможет найти применение при строительстве предварительно напряженных бетонных покрытий аэродромов и дорог, а также для изготовления элементов мостовых конструкций.

§ 68. ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ

Для устройства противолучинных, гидроизоляционных, теплоизоляционных слоев в земляном полотне находят применение газонаполненные и рулонные пластмассы.

Особенность газонаполненных пластмасс заключается в их физической неоднородности, в своеобразии их немзовидной структуры. Эти материалы отличаются небольшой объемной массой и высокой тепло-, звуко- и электроизолирующей способностью. Материалы с явно выраженной замкнутоячеистой структурой называют *пенопластами*, а с открытой пористой структурой — *поропластами*. Большинство газонаполненных пластмасс (пенополивинилхлориды, пенополистиролы), получаемых из термопластичных полимеров по прессовой технологии, относят к пенопластам. На основе тех же полимеров при соответствующем изменении состава исходной композиции и приемов их вспенивания могут быть получены поропласты.

При изготовлении газонаполненных пластмасс методом химического взаимодействия исходных компонентов (например, так называемые самовспенивающиеся композиции типа полиэфируретанов) в зависимости от качественного и количественного состава веществ, участвующих в данном процессе, могут получаться пено- и поропласты. По упругим характеристикам газонаполненные пластмассы делятся на жесткие, полужесткие и эластичные.

Пенопласт на основе полистирола. Пенопласты ПС-1, ПС-2, ПС-4 и ПС-18 изготовляют на основе эмульсионного полистирола. При получении пенопластов ПС-1, ПС-2 и ПС-18 применяют органические газообразователи; при получении пенопласта ПС-4 — неорганические газообразователи. Положительными свойствами перечисленных пенопластов являются большая механическая прочность, водостойкость и устойчивость в кислых и щелочных средах. К недостаткам следует отнести горючесть и низкую теплостойкость.

Пенопласт ПС-1 выпускают в виде плит размером до 2000×2000 мм, толщиной от 40 до 55 мм. Плиточный пенопласт можно получить с различной объемной массой (от 0,06 до 0,22 г/см³ и выше) в зависимости от количества вводимого в исходную смесь газообразователя. Пенопласт ПС-1 применяют для изготовления крупных самонесущих ограждающих панелей, в которых предусмотрены закладные несущие элементы для соединения панелей друг с другом.

Пенопласт ПС-4 выпускают в виде прямоугольных плит размером до 1500×1500 мм, толщиной не менее 50 мм. Плиты пенопласта легко поддаются обработке и склеиваются друг с другом, с металлами и другими материалами.

В зависимости от количества газообразователя можно получить пенопласт ПС-4 с объемной массой от 0,035—0,04 до 0,08 г/см³ и выше. Прочность этих пенопластов невелика, и чем ниже объемная масса пенопласта, тем в большей степени снижаются его показатели.

Пенопласты на основе поливинилхлорида получают жесткие и эластичные. Жесткий пенополивинилхлорид марок ПХВ-1 и ПХВ-2 представляет собой легкую газонаполненную пластическую массу в виде твердой пены с равномерно замкнутой пористой структурой. Сырьем для пенополивинилхлорида служат поливинилхлоридная смола, газообразователи (соли угольной кислоты) и метилметакрилат, который повышает текучесть полимера. Технология изготовления пенопласта состоит из смешивания компонентов, прессования, охлаждения в формах, освобождения готовых изделий из форм, вспенивания в термокамере.

Эластичный пенополивинилхлорид ПХВ-3 получается из того же сырья и по той же технологии, что и жесткий пенопласт с добавлением пластификатора. Пенопласт марки ПХВ-3 выпускают в виде плит размером 500×500×40 мм.

К недостаткам жестких поливинилхлоридных пенопластов относится их низкая теплостойкость (60°С). Эластичные пенопласты обладают еще более низкой теплостойкостью; рабочая температура,

при которой они могут эксплуатироваться, составляет 40—45°С. Линейная усадка эластичных пенопластов за 24 ч составляет 2—4%, морозостойкость (в зависимости от пластификатора) колеблется от минус 10 до минус 30°С.

Мипора представляет собой жесткий пеноматериал на основе мочевино-формальдегидных смол с открытопористой структурой.

Физико-механические свойства мипоры: объемная масса — 10—20 кг/м³, коэффициент теплопроводности — 0,026—0,030 ккал/м·ч·град, влажность мипоры 12%, эластичность — при сжатии на 20% материал не должен разрушаться, рабочая температура — 100°С.

Пенопласты могут быть изготовлены на основе эпоксидных, кремнийорганических и других смол.

§ 69. ЦВЕТНЫЕ МАРКИРОВОЧНЫЕ МАСТИКИ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Маркировочные мастики применяют для устройства разделительных полос, указательных знаков на готовом асфальтобетонном покрытии. После нанесения на поверхность дорожного покрытия они должны обладать устойчивостью, достаточной для противодействия атмосферным факторам и движению транспортных средств.

Маркировочные мастики — смесь вяжущего, каучука, пигмента, минеральной части и растворителей. Мастики приобретают достаточную устойчивость в покрытии в результате испарения растворителя и одновременной полимеризации вяжущего и каучука.

В зависимости от вида вяжущего и состава мастики могут быть уложены в холодном или горячем состоянии. Вяжущим для холодных мастик может быть принята инден-кумароновая смола (расплавленная, в виде раствора или в эмульгированном состоянии) с бутадиеновым каучуком или латексом. В качестве красителя применяют титановые белила, белую эмульсионную краску, белую краску «Оруд» и др.

Бутадиеновый каучук, или латекс, который является неотъемлемой частью холодных мастик, вводят в растворенном состоянии. Растворитель — метиленхлорид. В качестве минерального наполнителя применяется дробленый кварцевый песок с максимальной крупностью зерен 2,5 мм.

Ниже приводятся некоторые составы холодных мастик для маркировки проезжей части дороги:

состав 1: белая краска «Оруд» — 24%; инден-кумароновая смола — 9%; бутадиеновый каучук — 7%; дробленый кварцевый песок — 60%; растворитель-метилен — четырехкратное количество от массы каучука;

состав 2: белая эмульсионная краска — 14%; латекс — 13%; эмульсия инден-кумароновой смолы — 13%; дробленый кварцевый песок — 60%; стабилизатор ОП-7 — 5% от массы латекса.

При малых объемах работ смесь приготавливают в бойках, а при больших объемах — в бетономешалках с принудительным пере-

мешиванием. Измельченную смолу помещают в растворитель или непосредственно в краску «Оруд». Размельченный бутадиеновый каучук помещают в растворитель и перемешивают. Совмещение раствора каучука с краской «Оруд» выполняют путем постепенного введения раствора каучука при перемешивании в краску.

В бетономешалку вначале выливают жидкие компоненты, а затем в процессе перемешивания дробленый кварцевый песок. Время перемешивания в мешалке 2—3 мин.

При большом протяжении маркировочных полос применяют самоходную тележку с баком емкостью 0,3 м³ для мастики. В нижней части бака расположена щель, размер которой регулируют шиберной заслонкой. Мастика под действием собственной массы поступает из бака в распределительный ящик, а оттуда — на покрытие.

Технология приготовления и укладки горячей мастики заключается в следующем: необходимое количество титановых белил или другого пигмента вводят в пластификатор и тщательно перемешивают до получения однородной массы, которую нагревают до 50°С, после чего в нее вводят измельченную кумароновую смолу по следующему составу: кумароновой смолы 11%, пластификатора 4%, титановых белил 5%, дробленого кварцевого песка 80%.

При постоянном перемешивании температуру массы доводят до 110—115°С. Дробленый кварцевый песок, нагретый до 110—115°С, всыпают в мешалку принудительного действия и перемешивают 2—3 мин до получения однородной массы.

§ 70. ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНОК И ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И КЛЕЕВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

При строительстве дорожных одежд все больше применяют пленки из полиэтилена, полиизобутилена, полиамида.

Полиэтиленовую пленку изготавливают из полиэтилена методом непрерывного прессования (экструзия) с последующим растяжением. Пленку выпускают в виде рукава или ленты, намотанной в рулоны или сложенной в пакеты кусками длиной не менее 1 м. Ширина рукава в развернутом виде или ширина ленты зависит от толщины пленки и составляет от 120 до 800 мм. Пленку выпускают толщиной от 0,036 до 0,2 мм.

Техническая характеристика полиэтиленовых пленок приведена ниже:

Морозостойкость, °С	минус 60
Предел прочности при растяжении, кгс/см ²	130—180
Относительное удлинение в продольном направлении, %	200—400
Относительное удлинение в поперечном направлении, %	450—550
Водонасыщение за 24 ч, %, не более	0,01

Полиэтиленовые пленки являются гнилостойкими, их можно легко сваривать, что очень упрощает соединение полотен.

Полиамидные пленки. Исходными материалами для их производства служат полиамиды — термопластичные смолы, получаемые реакцией поликонденсации (двухосновных кислот и диаминов) или

Показатели	Марки пленок				
	ПК-4			№ 548	ПКРТ-3
Предел прочности при растяжении, кгс/см ² , не менее:					
по длине	800	600	300	300	200
» ширине	250	150	150	—	—
Относительное удлинение, %	—	—	—	250	250
Набухание в воде, %, не более	—	—	—	12	6
Морозостойкость, °С	—	—	—	—45	—35

реакцией ступенчатой полимеризации (лактамов). Они представляют собой твердые роговидные непрозрачные продукты белого или светло-желтого цвета, плавящиеся в узком температурном интервале. Плотность полиамидов — 1,04—1,14, водопоглощаемость — 0,5—12%. Толщина выпускаемой пленки составляет 0,05—0,17 мм, ширина 1200—1300 мм, длина до 300 м. Основные свойства полиамидных пленок приведены в табл. 59.

При строительстве дорожных одежд находят применение пленки из полиэтилена, полиамидов и др. Большой эффект дает укладка полиэтиленовой пленки под слой цементобетона. Пленка, расстилаемая непосредственно по спланированному основанию, препятствует отсосу воды из бетонной смеси в процессе твердения бетона, а в дальнейшем является преградой для капиллярного подсоса влаги из грунта. Благодаря своей эластичности полиэтиленовая пленка свободно выдерживает удары при выгрузке бетонной смеси из автомобилей-самосвалов. Установлено, что под слоем бетона пленка не стареет долгие годы и служит надежной защитой от агрессивных грунтовых вод. Обычно применяют пленку толщиной 0,1—0,12 мм.

Лак-этиноль является отходом производства синтетического каучука. Это раствор темно-коричневого цвета в ксилольной фракции полимеров производных ацетилена, стабилизированных древесно-смоляным антиокислителем. Плотность лака — этиноль 0,95. Он обладает резким неприятным запахом, токсичен и огнеопасен, на воздухе быстро полимеризуется.

Образующая пленка лака надежно удерживает влагу в бетоне и предохраняет его от образования трещин, способствует ускорению процессов твердения, так как темный цвет пленки помогает лучшему нагреву бетона солнечными лучами.

В обработанном лаком покрытии создаются благоприятные условия для продолжительного твердения бетона, так как защитные свойства пленки сохраняются в течение нескольких месяцев. Расход лака-этиноля на 1 м² поверхности бетона составляет от 0,5 до 2 кг. Уход за бетоном с помощью лака-этиноля обходится в 3—4 раза дешевле, чем посыпка песком с последующей поливкой водой.

В последние годы определенное применение в дорожном строительстве для устройства защитных ковриков в местах разрушения и ремонта цементнобетонных покрытий находят *эпоксидные смолы*. Норма розлива эпоксидной смолы вместе с отвердителем составляет 1,1—1,6 кг/м². Вслед за розливом рассыпают тонким слоем песок или высевают. Конечная толщина слоя поверхностной обработки 2 мм. Такой коврик имеет шероховатую поверхность, устойчив к действию агрессивных сред (противогололедных солей и др.).

Перед поверхностной обработкой цементнобетонное покрытие тщательно очищают жесткими щетками, промывают сначала слабой соляной кислотой, а затем водой. Если имеются выбоины, их заделывают вручную смесь песка с эпоксидной смолой.

По зарубежным данным (США, Франция), защитные коврики на эпоксидной смоле хорошо работают на сверхинтенсивных участках автомагистралей (более 80 тыс. автомобилей в сутки).

При строительстве дорожных одежд и искусственных сооружений применяют *жидкие клеи*, при этом консистенция клея, определяемая вязкостью, должна обеспечивать возможность нанесения его на поверхность пленкой возможно меньшей толщины. Это обеспечивает большую прочность и стабильность клеевого шва.

Качество клея определяют прочностью сцепления при сдвиге и изгибе, водостойкостью, термостойкостью, стабильностью (отсутствием старения), а в отдельных случаях и морозостойкостью.

Из большого разнообразия клеевых материалов, применяемых в промышленности, остановимся лишь на некоторых. Клеевые материалы на основе фенолоформальдегидных и меламинаформальдегидных смол представляют растворы с присадкой к ним необходимых веществ. Из фенолоальдегидных смол известны клеи ВИАМ Б-3, В-31, Ф-9 и др. Перед употреблением в эти клеи для лучшего отверждения вводят сульфоконтакт (контакт Петрова). Клеевая пленка твердеет при нагревании до 60°С в течение 8—12 ч. Эти клеи вредны, поэтому в процессе работы необходимо соблюдать правила техники безопасности.

Меламинаформальдегидные (а также мочевиноформальдегидные) клеи перед употреблением смешивают с отвердителем (хлористым цинком, хлористым аммонием и др.). Их применяют для склеивания древесины и некоторых пластических материалов.

Приклеенный шов достаточно прочен (прочность на скалывание около 100 кгс/см²), довольно водостоек и обладает малой усадкой в тонком слое. Известны клеи следующих марок: КМ-1, КМ-2, КМ-12 и др.

Клей БФ представляет собой спиртовые растворы смол, полученных при различных соотношениях фенолоформальдегидной смолы и поливинилбутираля. Клей БФ (марок БФ-2, БФ-3, БФ-4, БФ-5, БФ-6) образует эластичную, прочную пленку с высокой адгезионной способностью к различным материалам.

Клеи на основе эпоксидных смол обладают значительной адгезией, малой усадкой и водопоглощением, прочны. Термостойкость их 100—120°С. Эпоксидные смолы ЭД-6, ЭД-5, изготавливаемые на осно-

ве дифенилпропана и эпихлоргидрина, применяют для склеивания алюминия и его сплавов, стали различных марок, пластмасс, древесины, керамики. Клеевой шов после отверждения водостоек, устойчив против действия щелочи, кислот, растворителей.

Клеи на основе полиэфиров обладают заметной адгезией, малой водопоглощаемостью, усадка их достигает 10%, они прочны и термостойки.

Для склеивания винилпласта и поливинилхлорида применяют перхлорвиниловый клей (10—12% раствора перхлорвиниловой смолы в метилхлориде).

Определенный интерес представляют силиконовые клеи. Они обладают значительной термостойкостью и подобно органическим соединениям гибки и растворимы в органических жидкостях.

ГЛАВА X

Органические вяжущие материалы (битумы и дегти)

§ 71. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Органические вяжущие представляют собой группу природных или искусственных твердых, вязко-пластичных или жидких веществ, состоящих из смеси органических, относительно высокомолекулярных соединений.

Органические вяжущие (битумы и дегти) широко применяют в строительстве для устройства дорожных покрытий, тротуаров, полов, изготовления рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, для защиты от коррозии бетона, металлов, а также для защиты от радиоактивных излучений. Все же наиболее широко органические вяжущие, в особенности битумные материалы, применяют в дорожном строительстве.

С 1925—1927 гг. в Советском Союзе систематически проводятся работы по исследованию и применению органических вяжущих материалов для дорожного строительства. В этот период были построены дороги с использованием битумов в Ленинграде, Москве, Харькове, Крыму, на Кавказе и др. В 1925 г. на Всероссийском съезде работников промышленности строительных материалов была принята номенклатура и классификация органических вяжущих материалов. Большой вклад в развитие строительства дорожных покрытий с использованием органических вяжущих материалов внесли работники Дорожного научно-исследовательского института, а также сотрудники Московского, Харьковского автомобильно-дорожных институтов, изучающих состав и свойства битумов и дегтей и их применение в дорожном строительстве.

На основании проведенных исследований в 1938 г. были разработаны технические условия, а несколько позже и государственные общесоюзные стандарты (ГОСТы), на вязкие и жидкие дорожные битумы. С дальнейшим развитием исследований ГОСТы на органические вяжущие пересматривались и улучшались. В настоящее время проводится большая работа по совершенствованию технологий переработки нефти и повышению качества битума.

Сырьем для производства органических вяжущих являются продукты органического происхождения: нефть, каменный уголь, го-

рующие сланцы, торф. Это сырье подвергается физико-химической переработке (фракционной разгонке, сухой деструктивной перегонке и др.), в результате, помимо других ценных продуктов, получают смолообразные остатки. Эти остатки подвергают дополнительной переработке и доводят их свойства до требований, предъявляемых к органическим вяжущим веществам, которые должны обладать следующими основными свойствами: 1) легко объединяться с каменными материалами, образуя при этом водоустойчивую и прочную пленку; 2) обладать вязкостью, позволяющей в период объединения с материалом хорошо его обволакивать, а в период работы связывать минеральные частицы в монолит, обладающий необходимой прочностью; 3) быть стабильными, не изменять свои свойства в процессе службы в дорожных покрытиях.

В зависимости от свойств, химического состава, вида сырья и технологического процесса получения в СССР принята следующая классификация органических вяжущих веществ:

битумы (природные, нефтяные, сланцевые) — вещества, состоящие из углеводородов нафтенного, ароматического и метанового рядов и их кислородных, сернистых и азотистых производных;

дегты (каменноугольные, торфяные, древесные) — вещества, состоящие в основном из смеси ароматических углеводородов и их кислородных, азотистых и сернистых производных.

По роду сырья битумы и дегты разделяются на:

природные битумы, находящиеся в природе почти в чистом виде или извлекаемые из асфальтовых горных пород (асфальтовых известняков, песчаников, песков и др.);

нефтяные битумы, являющиеся продуктом переработки нефти и ее смолистых остатков;

сланцевые битумы, образующиеся при переработке продуктов перегонки битуминозных (горючих) сланцев;

каменноугольные дегты, получаемые из продуктов сухой (деструктивной) перегонки каменных углей (сырые смолы);

торфяные дегты, являющиеся продуктом сухой перегонки торфа;

древесные дегты, являющиеся продуктом сухой перегонки древесины.

По основным строительным свойствам и их консистенции дорожные битумы и дегты условно делят на следующие группы:

вязкие битумы и дегты, обладающие при температуре 20—25° С вязкими и пластичными свойствами. При температуре от +120 до +180° С они приобретают подвижность;

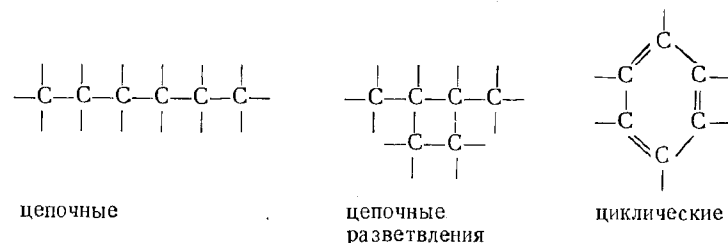
жидкие битумы и дегты — полужидкие материалы при температуре 20—25° С, содержащие в своем составе летучие углеводороды. Их применяют при температуре от 15 до 120° С; они обладают способностью загустевать по мере испарения летучих углеводородов, после чего приобретают свойства, близкие по своим свойствам к вязким битумам и дегтам.

Битумные эмульсии и суспензии — дисперсные системы, состоящие из диспергированного вяжущего материала (чаще всего полутвердого, пластичного) в водной среде с добавкой эмульгатора.

При нормальной температуре эмульсии и суспензии текучи и применяются в холодном или теплом состоянии (не ниже +2° С). При распределении эмульсии или суспензии тонким слоем по поверхности каменных материалов они распадаются, и выделяют вяжущий материал с первоначальными (до диспергирования) свойствами.

§ 72. СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Органические вяжущие (битумы и дегты), представляющие собой систему соединений различных по составу углеводородов. Углерод четырехвалентен и главной его особенностью является способность образовывать соединения (карбоцепные), в которых атомы углерода связаны между собой. При этом могут образовываться цепочные (в виде простых или разветвленных цепей) и циклические соединения:



В зависимости от числа атомов и их взаимного расположения изменяются и свойства вещества. Например, чем больше атомов входит в соединение одного и того же вида, тем выше в нем межмолекулярное взаимодействие и вещество будет переходить от газообразного к жидкому → высоковязкому → твердому состоянию.

Свойства соединений углерода в большей степени зависят от характера связей между его отдельными атомами. Способность атомов углерода образовывать цепочки, кольца, сложные решетки, в которые входят другие элементы — гетероцепные соединения (O, N, Si, S и др.), обуславливает существование в настоящее время свыше трех миллионов соединений, число которых непрерывно растет. В зависимости от состава, строения органические соединения разделяют на классы, группы, ряды и т. д.

Органические вяжущие (битумы и дегты) представляют собой дисперсные системы, состоящие из смеси различных (ароматических C_nH_{2n-6} , нафтенные C_nH_{2n} , реже метановых C_nH_{2n+2}), а также гетероциклических, относительно высокомолекулярных углеводородов и неметаллических производных. В состав каменноугольных дегтей входят преимущественно углеводороды ароматического ряда (производные от бензола C_6H_6).

Элементарный состав битумов колеблется в пределах C=73—87%, H=8—12%, O=1—12%, S=1—5%, N до 1%. В нефтяных битумах содержание кислорода меньше (до 2%), чем в природных, и содержание углерода колеблется в меньших пределах (84—87%).

Кислород, сера, азот, содержащиеся в битумах в небольшом количестве, могут входить в соединения с образованием активных функциональных групп OH , COOH , N_2H , SH , которые оказывают существенное влияние на свойства битумов. Соотношение между углеродом и водородом C/H неодинаковое для различных классов соединений и увеличивается по мере перехода углеводородов от парафиновых к нефтяным и от нефтяных к ароматическим. По соотношению C/H можно судить о содержании ароматических углеводородов.

Поскольку элементарный состав битума дает весьма приближенное представление о возможных химических соединениях, входящих в состав битума, определяют так называемый групповой состав. Разделение битумов на отдельные его компоненты (группы) основано на неодинаковой их растворимости в различных растворителях (бензоле, петролейном эфире, ацетоне), а также избирательной адсорбируемости различными адсорбентами (флоридин, силикагель и др.) и последующей их десорбции органическими растворителями. Из битума обычно выделяют следующие группы углеводородов: масла (кислые и нейтральные), асфальтены. Реже выделяют асфальтогеновые кислоты и их ангидриды, карбены и карбоиды, парафины. Примерный групповой состав битума:

Масла	40—60%
Смолы	20—40%
Асфальтены	10—25%
Карбены и карбоиды	1—3%
Асфальтогеновые кислоты и их ангидриды	1%

Примерный групповой состав каменноугольных дорожных дегтей следующий:

Дегтевые масла	60—80%
Вязко-пластические смолы (растворимые в бензоле)	10—15%
Твердые смолы, растворимые в пиридине	5—10%
Свободный углерод (нерастворимая часть)	5—25%
Нафталин	<7%
Антрацен	<10%
Фенолы	<5%

Указанные группы битумов и дегтей обладают определенными физико-химическими свойствами, которые оказывают влияние на дисперсные структуры, образуемые в вязущих веществах.

Масла — вещества светло-желтого цвета с плотностью ниже 1; они состоят из углеводородов относительно несложного строения с молекулярной массой 300—500; выделяются растворением их легким бензином. Дегтевые масла выделяются фракционной отгонкой до 360°C . Масла придают вязущему подвижность, текучесть.

Смолы (подразделяются на нейтральные и кислые, твердые и мягкие) — вещества темно-коричневого цвета с плотностью около 1. Смолы состоят из более сложных, чем масла углеводородов с молекулярной массой 600—800. По химическому составу в основном относятся к гетероциклическим ароматическим высокомолекулярным соединениям, в состав которых входят углерод, водород,

кислород и сера. Большую часть смол составляют химически нейтральные вещества, меньшую — вещества кислого характера, содержащие группу COOH , OH . В смолах сконцентрирована основная масса сернистых, кислородных, а в большинстве случаев и азотистых соединений. Эти соединения в большей части полярные, поверхностно-активные, хорошо прилипают к поверхности каменных материалов, образуя водоустойчивые пленки. Смолы плохо растворяются в этиловом спирте и ацетоне, хорошо растворяются в бензине, бензоле, хлороформе, образуя истинные, а не коллоидные растворы. Смолы легкоплавкие, вязко-пластические вещества, их содержание в вязущем обуславливает его текучесть и эластичность.

Асфальтены — твердые неплавкие вещества. Плотность их несколько более 1, по химическому составу представляют собой смесь насыщенных гетероциклических соединений, содержащих наряду с углеродом и водородом кислород или серу, весьма близкие по элементарному составу и строению к смолам, но отличаются от них более высокой (в 2—3 раза) молекулярной массой 1000—5000.

Асфальтены влияют на процессы структурообразования в битуме. Содержание асфальтенов определяет температурную устойчивость, вязкость и твердость вязущих материалов. Физико-химические свойства масел, смол и асфальтенов приведены в табл. 60.

Таблица 60

Компоненты битума	Характеристика компонентов				
	Плотность	Молекулярная масса (в бензоле)	Площадь поперечного сечения молекулы \AA^2	Длина молекулы \AA	Поверхностное натяжение, $\text{эрг}\cdot\text{см}^2$
Масла	0,911—0,923	365—463	—	—	31,64—32,75
Смолы	1,056—1,078	670—829	76,39—83,10	12,7—15,6	25,04—31,18
Асфальтены	1,117—1,121	Около 1300	97—106	18,7—19,4	—

Карбены и карбоиды встречаются в битумах сравнительно редко, преимущественно в крекинг-битумах в небольшом количестве (1—2%), их содержание повышает вязкость и хрупкость битума. По составу и свойствам они близки к асфальтенам, но содержат больше углерода, имеют большую плотность и более темный цвет. Карбены нерастворимы в бензоле и растворяются только в сероуглероде. Карбоиды — твердые вещества типа сажи, нерастворимы в органических растворителях. В дегтевых вязущих к этой группе относится свободный углерод.

Асфальтогеновые кислоты и их ангидриды — вещества коричнево-серого цвета, обладают густой маслянистой или смолистой консистенцией, плотность выше 1, хорошо растворяются в спирте, хлороформе и плохо в бензине. О содержании асфальтогеновых кислот и их ангидридов можно судить по кислотному числу и числу омыления. Кислотные числа битумов редко бывают выше 0,5—1 мг КОН.

Число омыления в пределах 10—30 мг КОН. В дегтевых вяжущих к этой группе относят карбоновые кислоты и фенолы — вещества, содержащие в бензольном кольце гидроксильную группу ($-\text{OH}$); они растворимы в воде и ядовиты. Асфальтогенные и карбоновые кислоты и их ангидриды, а также фенолы — наиболее полярные компоненты вяжущего, а следовательно, и наиболее поверхностно-активные, их содержание определяет интенсивность прилипания битумов и дегтей к каменным материалам, в особенности к основным карбонатным породам.

Парафин относится к твердым метановым углеводородам. Его содержание в битумах зависит от исходного сырья. Нефти в СССР в ряде районов (Урало-Волжский бассейн) высокопарафинистые, поэтому при производстве битумов стремиться, чтобы содержание парафина в нем не превышало 5%. Повышение содержания парафина ухудшает свойства битумов, но его влияние на свойства битума полностью еще не выяснено. Парафины снижают дисперсность асфальтенов и их растворимость в других компонентах битума, что связано с нарушением структуры битума. В зависимости от углеводородного состава битума влияние парафина различно: чем выше содержание ароматических углеводородов в битуме, тем меньше влияние парафина на его свойства. При содержании парафина в битуме до 3,5%, он, как правило, не оказывает существенного влияния на его свойства. Большее содержание парафина снижает растяжимость битума и повышает температуру его затвердевания, а также увеличивает хрупкость при отрицательных температурах. При нагревании парафинистый битум переходит в жидкое состояние при меньшей температуре, чем безпарафинистые битумы. На свойства битумов оказывает влияние не только количественное содержание парафинов, но и структура парафиновых углеводородов. Наиболее неблагоприятное влияние оказывают крупнокристаллические парафины, аморфные же или мелкокристаллические парафины — *церезины* (метано-нафтеновые углеводороды) меньше влияют на свойства битумов.

Другим направлением в изучении битумов является определение активных функциональных групп COOH , OH , NH_2 , SH , COOR , $-\text{CH}=\text{CH}-$ и др. Перечисленные группы являются реакционно-способными и активными. От их содержания, распределения между компонентным составом зависит ряд важных свойств битума. Содержание активных функциональных групп определяет интенсивность прилипания битума к поверхности каменных материалов. Некоторые группы OH , COOH и в особенности ненасыщенные углеводороды с двойными связями — $-\text{CH}=\text{CH}-$ определяют склонность битумов к окислению и полимеризации.

Приведенные выше сведения о составе и структуре битумов взаимосвязаны с их свойствами (полярностью, диэлектрической проницаемостью, поверхностным натяжением, смачиваемостью, прилипанием и др.)

Полярность битумов может характеризоваться различными физическими константами: дипольным моментом, диэлектрической

проницаемостью, теплотой смачивания, поверхностным натяжением. Для битумных материалов полярность можно характеризовать по отношению растворимости битума в полярном и неполярном растворителях:

$$\alpha = \frac{A}{B} 100,$$

где α — коэффициент растворимости; A — растворимость битума или дегтя в метиловом спирте, %; B — растворимость битума в бензоле, %.

Коэффициент растворимости для нефтяных битумов колеблется в пределах 5—35, сланцевых 50—70, каменноугольных дегтей 45—95.

Для более точных исследований определяют *диэлектрическую проницаемость*, которая обусловлена полярной природой вещества. Эта величина показывает, во сколько раз ослабляется сила взаимодействия F между электрическими зарядами l_1 и l_2 , находящимися на расстоянии r , в данной среде (диэлектрика) по сравнению со взаимодействующим их в пустоте. Для битумов диэлектрическая проницаемость при увеличении температуры от -10 до $+24^\circ\text{C}$ повышается, что объясняется уменьшением вязкости и облегчением ориентации диполей в электрическом поле. С дальнейшим повышением температуры до 260°C диэлектрическая проницаемость снижается, что связано с нарушением молекулярных комплексов в надмолекулярных структурах битума (рис. 127). Применение метода диэлектрических констант позволяет исследовать структурные изменения в битуме в зависимости от температуры, введения добавок и др.

Поверхностное натяжение битумов при температуре $20\text{--}25^\circ\text{C}$ равно $25\text{--}35$ эрг/см². Определение поверхностного натяжения битумов сложно, поэтому, по предложению акад. П. А. Ребиндера, для таких материалов принято определять их поверхностную активность — способность растворенного битума снижать поверхностное натяжение раствора на границе с водой. Чем выше поверхностная активность битума, тем выше его полярность, а следовательно, и адсорбция над поверхностью минерального материала. Молекулы поверхностно-активных веществ состоят из неполярной части углеводородной цепи, например $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\dots$, и полярной активной группы $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, NH_2 , SH и др. На разделе фаз полярной и неполярной жидкостей поверхностно-активные вещества ориентируются по линии раздела поля полярной группой к полярной жидкости, а неполярной частью к неполярной жидкости. От содержания полярных компонентов в вяжущем зависит его смачивающая способность и интенсивность прилипания (сцепления) с каменными материалами.

Смачиваемость минеральных материалов битумом также зависит от содержания в нем поверхностно-активных полярных сое-

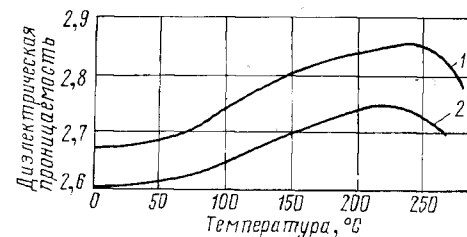


Рис. 127. Изменение диэлектрической проницаемости в зависимости от температуры: 1 — битум; 2 — смесь битума с 10% кубовых остатков синтетических жирных кислот

динений и свойств каменных материалов. Смачиваемость определяют по краевому углу (углу смачивания), образуемому поверхностью минерального материала и касательной, проведенной к поверхности капли жидкости в точке соприкосновения фаз.

Если краевой угол острый, смачивание хорошее, поскольку притяжение молекул жидкости поверхностью минерального материала (адгезия) приближается к внутреннему притяжению молекул жидкости (когезия). Если краевой угол большой (тупой), смачивание плохое, притяжение молекул жидкости минеральным материалом слабое. Таким образом, минеральный материал тем лучше смачивается жидкостью, чем меньше силы сцепления между ее молекулами (когезия) и чем больше силы прилипания между молекулами жидкости и минеральным материалом (адгезия).

Прилипание битума к каменным материалам (адгезия) зависит от физико-химических свойств битума, содержания активных функциональных групп, полярности, поверхностного натяжения. Для определения прилипания битума к каменным материалам существует ряд методов, основанных на способности каменных материалов, предварительно обработанных битумом, удерживать битумную пленку при ее вытеснении методом кипячения в воде или механическим встряхиванием и взбалтыванием. Для определения прилипания битума к каменным материалам Союздорнии разработан метод, принцип которого состоит в следующем. Сухие или предварительно увлажненные зерна щебня или гравия покрывают слоем битума путем погружения на 15 с в вязущий материал, подогретый до рабочей температуры. Обработанные зерна помещают (подвешивают на проволоке или укладывают на сетку) в сосуд с кипящей дистиллированной водой на 3 мин. Затем проверяют интенсивность прилипания битума и оценивают ее в зависимости от степени смещения битумной пленки с поверхности минерального материала, пользуясь пятибалльной шкалой (табл. 61).

Т а б л и ц а 61

Характеристика пленки битума на поверхности минеральных материалов	Показатель прилипания
Пленка битума полностью сохранена, при этом толщина пленки битума может быть несколько неровной	Хорошее
Пленка битума несколько смещается водой. Наблюдается обнажение некоторых зерен или отдельных участков их поверхности (около 40%)	Удовлетворительное
Пленка битума полностью или почти полностью смещается водой, наблюдается обнажение минеральных зерен с мелкими каплями свернувшегося битума, весь битум может всплыть наверх	Плохое

При недостаточной поверхностной активности битума и плохом прилипании его к поверхности каменных материалов применяют поверхностно-активные добавки.

§ 73. СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Исследование реологических¹ свойств получило в последнее время широкое распространение, поскольку в сочетании с другими методами они позволяют получить определенные данные о структуре вещества и его механических свойствах.

Деформации в твердом (упругом) теле, возникающие под действием нагрузки, полностью обратимы. Закон деформирования идеально упругого тела выражается уравнением Гука:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E},$$

где ε — относительная деформация; τ — напряжение; E — модуль упругости.

Для упругого тела деформация не зависит от времени действия нагрузки. Деформации в жидкости под действием нагрузки необратимы. Закон деформирования идеальной жидкости выражается уравнением Ньютона

$$d\varepsilon = \frac{\tau}{\eta} dt,$$

где $d\varepsilon$ — величина деформации за время dt ; τ — касательное напряжение; η — вязкость динамическая, пз.

Описанные закономерности характеризуют идеальные тела и представляют крайние случаи. Для реальных тел фактор времени всегда будет влиять на развитие деформации. Одной из задач реологии и является изучение характера развития деформации от напряжения во времени.

Органические вязущие материалы (битумы и дегти) занимают промежуточное место между упругими и жидкими веществами, поэтому при приложении нагрузки одновременно возникают упругая (обратимая) и пластическая (необратимая) составляющие деформации. Такие материалы принято называть вязко-упругими или вязко-пластичными и их описывают различными реологическими моделями Максвелла, Кельвина-Фойгта, Зингера, Алфрея и др.

Исследование материалов, занимающих промежуточное положение, к которым относятся битумные и битумо-минеральные материалы, находится в стадии формирования (встречаются расхождения в терминологии, нет общепринятой теории, экспериментальные исследования выполняются с известными погрешностями).

Представляют определенный интерес исследования Союздорнии, МАДИ, ХАДИ, устанавливающие взаимосвязь между составом битума (соотношением масел, смол и асфальтенов) и его показателями структурно-реологических свойств. В зависимости от преобладающего структурно-образующего влияния (содержание асфальтенов и смол) битумы имеют определенные реологические характеристики (предельное напряжение сдвигу, структурную и пластическую вязкости) и по разному их изменяют в зависимости от температуры или содержания разжижителя.

¹ Реология (греч. рео — течь) — это наука о течении и деформационных процессах, протекающих во времени и приводящих к практическим равновесным состояниям или стационарному течению.

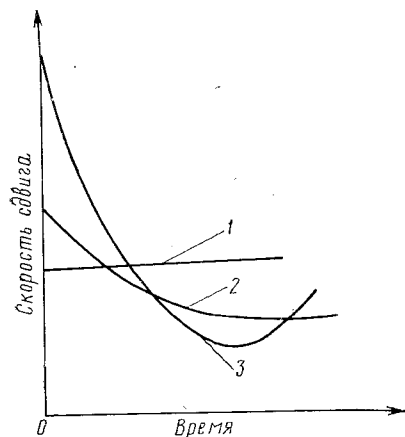


Рис. 128. Изменение скорости сдвига во времени при постоянном напряжении:

1 — золь; 2 — золь-гель; 3 — гель

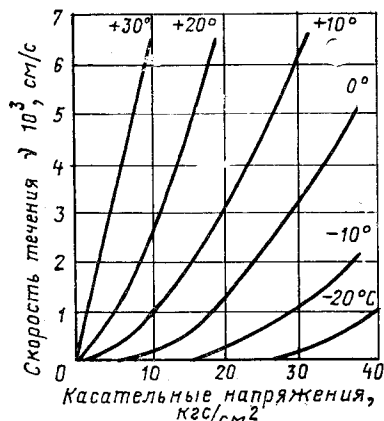


Рис. 129. Реологические кривые битума при температуре от -20 до $+30^{\circ}\text{C}$

По реологическим свойствам битумы делят на три типа (рис. 128). К первому типу относят битумы, течение которых подчиняется закону Ньютона. Этот тип соответствует структуре золь, к нему относятся сильно разжиженные жидкие битумы. К второму типу относят битумы, у которых после приложения постоянного напряжения скорость деформации уменьшается, а потом становится практически постоянной. Этот тип битума характерен для структуры золь — гель.

Для битумов третьего типа при приложении постоянного напряжения сдвигу скорость течения вначале снижается, а затем, если приложенное напряжение больше некоторого значения, скорость деформации снова повышается. Этот тип битума соответствует структуре гель.

По исследованиям, проведенным в Союздорнии, дорожные битумы также делят на три типа: структура первого типа характеризуется коагуляционной сеткой — каркасом из набухших в ароматических углеводородах асфальтенов со слабовыраженной структурой дисперсионной среды. Примерный состав битума: асфальтенов более 25%, масел более 50, смол до 24%, отношение асфальтенов к сумме (масла+смолы) более 0,35. В структуре второго типа доминирующую роль играют надмолекулярные вторичные образования смол. Асфальтены не взаимодействуют и не связаны между собой. Их примерный состав: асфальтенов менее 18%, масел менее 48, смол более 36%, отношение асфальтенов к сумме (масла+смолы) менее 0,26. Структура битумов третьего типа определяется сопряженными сетками из отдельных агрегатов асфальтенов и адсорбированных на их поверхности тяжелых смол, пронизывающих весь объем. Битумы этого типа по содержанию компонентов и по свойствам занимают промежуточное место.

Очевидно, рассмотренные структуры можно рассматривать как крайние случаи. Рассматривая битумы как растворы асфальтенов и смол в среде масел в зависимости от их состава и содержания, существует множество промежуточных структур. Структурную характеристику битумов можно выразить так называемым показателем дисперсности $D = \frac{C + Ц}{A + H}$,

где C , $Ц$, A , H — соответственно содержание смол, циклических соединений (преимущественно ароматических), соединений (преимущественно ароматических), асфальтенов, насыщенных углеводородов в процентах.

Вязкость битума изменяется от температуры (рис. 129). При пониженных температурах (-20 , -10°C) вязкость битума относительно велика и он приобретает свойства твердого тела (предельное напряжение сдвига, упругость и т. д.). С увеличением температуры вязкость его уменьшается и битум переходит в жидкое состояние. Для вязких и твердых битумов, относящихся к структурированным системам, вязкость нельзя рассматривать как физическую константу. Такие битумы при нормальной температуре обладают дополнительным сопротивлением сдвигу, а величина вязкости зависит от скорости деформации. Это обусловливается процессами структурообразования в битумах, которые влияют на его упруго-пластические свойства. При разрушении структурных связей в битуме влияние скорости деформации на показатель вязкости уменьшается. При этом установлено, что в состоянии покоя в битуме разрушенные структурные связи тиксотропно восстанавливаются.

Для характеристики вязкости битумов (вязких и твердых) пользуются условным показателем твердости — глубиной проникания стандартной иглы (пенетрацией) при действии на нее груза массой 100 г в течение 5 с при температуре 25°C и 200 г в течение 60 с при 0°C . Глубину проникания определяют на приборе — пенетрометре (рис. 130). Она выражается в градусах ($1^{\circ} = 0,1 \text{ мм}$) и обозначается P_{25} (индекс показывает температуру материала при испытании). Пенетрация вязких битумов находится в пределах $P_{25} = 200—5^{\circ}$.

Для перехода от условной вязкости (пенетрации) к абсолютной предложен ряд формул. Так, Зааль предлагает зависимость

$$\eta_n = \frac{1,58 \cdot 10^{10}}{P_{25}^{16}},$$

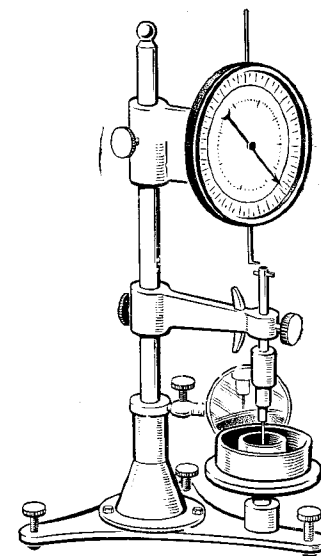


Рис. 130. Прибор для определения глубины проникания иглы (пенетрометр)

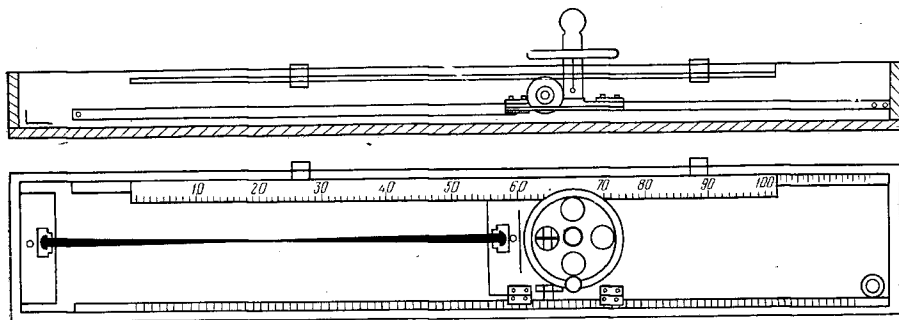


Рис. 131. Прибор для определения растяжимости (дуктилометр)

где η_n — динамическая вязкость, пз; P — глубина проникания, десятые доли миллиметра.

Дюрье предлагает более простую зависимость

$$\eta_n = \frac{K}{P^2},$$

где $K=8 \cdot 10^9$ для мягких битумов; $9 \cdot 10^9$ — для полутвердых и $10 \cdot 10^9$ — для твердых.

Пластичность. Пластические свойства вязких битумов характеризуются растяжимостью. *Растяжимость битумов* определяется с помощью прибора дуктилометра (рис. 131) путем растяжения шейки образца, имеющего форму восьмерки. Показателем растяжимости битума служит величина деформации шейки образца в момент разрыва, выраженная в сантиметрах. Это испытание проводится при скорости деформации $v=5$ см/мин и температурах 25 и 0°С (D_{25} , D_0). Дорожные вязкие битумы имеют растяжимость в пределах $D_{25} > 40$ см и $D_0 > 1-3$ см.

Когезия характеризует прочность межмолекулярных связей и определяется на когезиометре, состоящем из двух пластинок, склеенных слоем битума толщиной 10 м. Прочность при скорости деформации 200 мм/мин, выраженная в кгс/см², характеризует когезию. Для вязких битумов БНД=90/130 и БНД-60/90 когезия колеблется от 0,7 до 3 кгс/см² и зависит в основном от содержания в битуме смол.

Пластичность битумов, так же как вязкость и когезия, зависит от температуры, группового состава и характера структуры. Высокие пластические свойства вязких битумов наблюдаются обычно при значительном содержании смол, оптимальном содержании асфальтенов и масел и незначительном содержании карбенов и карбоидов. Небольшая тягучесть при низких температурах характерна для вязких битумов, содержащих твердые парафины. Зависимость растяжимости нефтяных битумов от температуры показана на рис. 132.

С изменением вязкости растяжимость битумов одного происхождения и способа их получения меняется с определенной законо-

мерностью, при этом с увеличением вязкости (уменьшением глубины проникания) растяжимость уменьшается. Битум при изменении температуры изменяет свои свойства и главным образом вязкость. При $t=40-50^\circ\text{C}$ битум превращается в жидкообразное состояние и для большинства дорожных конструкций не обеспечивает требуемой прочности. При $t=-20 \div -30^\circ\text{C}$ у битума несколько повышается вязкость, он становится хрупким и не обеспечивает требуемых свойств дорожных покрытий. Переход битумов из жидкого в вязко-пластическое, а затем в твердое (хрупкое) состояние и обратно протекает в определенном интервале температур ($-30 \div +60^\circ\text{C}$) и называется *интервалом превращения*, а интенсивность изменения вязко-пластических свойств характеризует *теплоустойчивость битумов*.

Для изучения влияния температуры на механические (деформативные) свойства органических вяжущих используют метод В. А. Каргина, основанный на построении кривых зависимостей деформация — температура. На рис. 133 приведена термомеханическая кривая для синтетических смол, к которым относятся битумные материалы.

Для характеристики чувствительности битумов к изменению температуры и его теплоустойчивости некоторые исследователи рекомендуют определять ряд показателей (фактор восприимчивости по Абрагаму, индекс пенетрации, коэффициент теплоустойчивости, интервал пластичности и т. д.). Эти показатели основаны на определении изменения свойств пенетрации, растяжимости битумов при двух различных температурах. Более правильно определять интервал превращения (интервал пластичности) битума T_n , а следовательно, и его теплоустойчивость как разность между температурой размягчения t_p и температурой затвердевания t_s :

$$T_n = t_p - t_s.$$

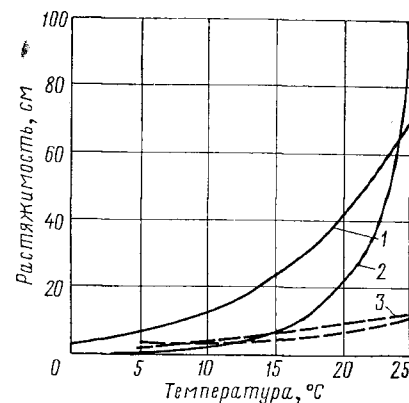


Рис. 132. Зависимость растяжимости битумов от температуры:
1 — нефтяных; 2 — парафинистых; 3 — крекинг-битумов

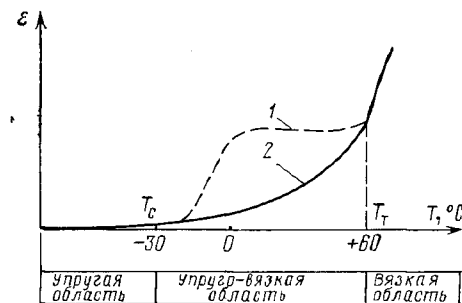


Рис. 133. Термомеханическая кривая:
1 — высокомолекулярного битума; 2 — низкомолекулярного битума

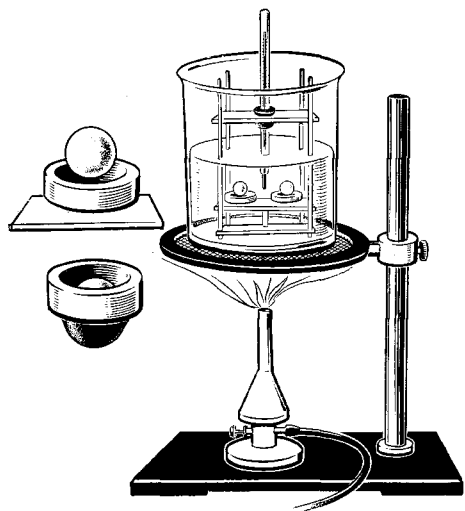


Рис. 134. Прибор для определения температуры размягчения

Температура размягчения определяется на приборе кольцо и шар (рис. 134). Латунное кольцо диаметром 16 мм и высотой 6,4 мм заполняют битумом, на его поверхности укладывают шарик диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г. Температура размягчения определяется по t° водяной бани, когда битум размягчится и шарик опустится на нижнюю полочку прибора. Это соответствует постоянной вязкости битума, равной $\sim 1 \cdot 10^4$ пз.

Температура затвердевания или хрупкости определяется на приборе Фрааса. Тонкий слой битума наносят на латунную пластинку и постепенно охлаждают. За температуру хрупкости принимают показани-

я термометра в момент появления первой трещины на битуме при изгибании пластинки. Температура хрупкости дорожных битумов колеблется в пределах от -20 до -5°C . Вязкость битумов при этом равна примерно $1 \cdot 10^{14}$ пз. Чем ниже температура хрупкости, тем выше его качество, с таким битумом покрытия более морозоустойчивы, на них меньше образуется трещин.

В некоторых странах (ГДР, ФРГ, ВНР и др.) температуру затвердевания (хрупкости) битумов определяют по пенетрации. Температура, при которой пенетрация составляет 1° , или 0,1 мм погружения иглы, что соответствует $1 \cdot 10^{10}$ пз, принимается за температуру затвердевания или хрупкости.

Интервал пластичности зависит от характера (интенсивности) изменения вязкости при изменении температуры $\eta = f(t^\circ)$ и зависит от вида битума, его состава и структуры (рис. 135).

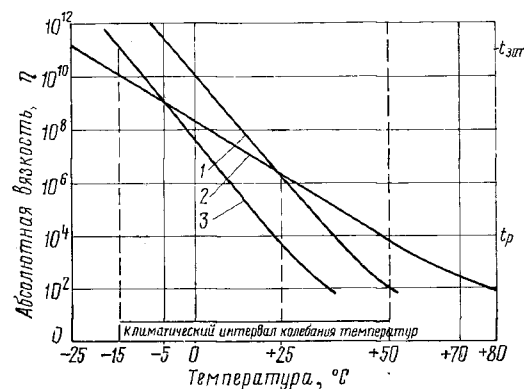
Для битумов характер изменения вязкости в зависимости от температуры на практике принято определять на основании двух характеристик: глубины проникания иглы P и температуры размягчения t_p . Для этой цели определяют также индекс пенетрации $ИП$, выражающий вышеуказанный интервал в виде отвлеченного числа. Индекс пенетрации определяют по формуле

$$\frac{800 - P}{t_p - 25} = \frac{20 - ИП}{50(10 + ИП)}.$$

Индекс пенетрации связан с характером изменения вязкости битума в зависимости от температуры. Битумы с индексом пенетрации менее 2 обладают большей чувствительностью к изменению температуры и приближаются к свойствам ньютоновской жидкости;

Рис. 135. Изменения вязкости органических вяжущих в зависимости от температуры:

1 — каменноугольный деготь повышенной вязкости; 2 — вязкий битум; 3 — каменноугольный деготь (Д-4); $t_{\text{зат}}$ — температура затвердевания; t_p — температура размягчения



они соответствуют коллоидной структуре золь. Битумы с индексом пенетрации от -2 до $+2$ менее чувствительны к изменению температуры, более пригодны для дорожного строительства и соответствуют промежуточному типу коллоидной структуры золь — гель. Битумы с $ИП$ более 2 еще менее чувствительны к изменению температуры и относятся к структуре гель.

Чем больше индекс пенетрации, тем шире интервал пластичности, тем качественней битум для дорожного строительства (рис. 136). Хорошая корреляционная зависимость между указанными параметрами позволяет определять t° хрупкости аналитически, если известны его глубина проникания и t° размягчения. Для увеличения интервала пластичности предложен ряд пластифицирующих добавок (латексы, поверхностно-активные вещества, синтетические смолы и др.), введение которых повышает температуру размягчения и понижает температуру хрупкости битума (см. § 85).

Устойчивость при нагревании битумов определяется уменьшением массы и изменением свойств (пенетрации, растяжимости) пробы битума при ее нагреве до 160°C в течение 5 ч. Изменение свойств при нагреве объясняется испарением части легких масел, а также за счет окисления и полимеризации, протекающих при нагреве более интенсивно.

Температура вспышки определяется на приборе, показанном на рис. 137. Температура, при которой пары битума, образующиеся

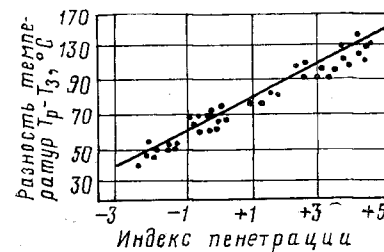


Рис. 136. Корреляционная зависимость между индексом пенетрации и интервалом превращения (пластичности)

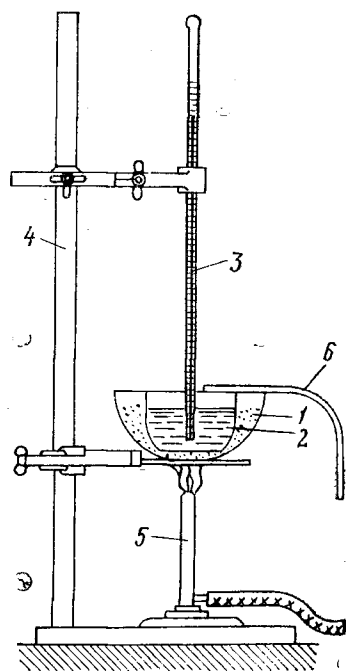


Рис. 137. Прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле:

1 — песчаная баня; 2 — тигель с битумом; 3 — термометр; 4 — штатив; 5 — горелка; 6 — зажигательное приспособление

при подогреве его в открытом тигле, воспламеняются от поднесенного к ним пламени, называется температурой вспышки. Температура, при которой это пламя горит не менее 5 с, называется температурой воспламенения. Температура вспышки полутвердых и твердых битумов не ниже $180-200^{\circ}\text{C}$, жидких класса А не ниже 70°C ; Б не ниже 100°C .

Объемное тепловое расширение битумов. Коэффициент объемного расширения при 25°C находится в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-4}$. При пониженных температурах он равен $2 \cdot 10^{-4}$ на 1°C . Более высокие значения коэффициента соответствуют более вязким битумам.

Теплоемкость — количество тепла в килокалориях, необходимое для нагрева 1 кг битума на 1°C и находится в пределах $0,43-0,47$ ккал/кг.

Теплопроводимость характеризуется коэффициентом теплопроводности, равным количеству тепла, которое может пропустить образец материала площадью 1 м^2 при толщине 1 м и перепаде температур в 1°C в течение 1 ч. Для битумов теплопроводность находится в пределах $0,13-0,15$ ккал/м·ч·град.

§ 74. СТРУКТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства синтетических смол, а также битумов определяются их структурой, характеризуемой размерами и строением его составных элементов: формой, степенью разветвленности молекул и макромолекул компонентов вяжущего, взаимным расположением их звеньев, а также молекулярным взаимодействием между ними и характером надмолекулярных образований. Так, акад. П. А. Ребиндер отмечает, что свойства битумов определяются характером развивающихся в них пространственных структур, которые образуются из беспорядочно распределенных в низкомолекулярной среде частиц различной величины и отдельных макромолекул.

Мицеллярная теория для высокомолекулярных соединений была разработана Кейстером и Марком. Она рассматривает соединения как систему кристаллитов (мицелл). Каждая мицелла состоит из значительного числа небольших молекул, соединенных между собой в один кристаллит силами ассоциации, при этом силы ассо-

циации настолько велики, что каждая мицелла представляет собой самостоятельную кинетическую единицу с фазовой поверхностью раздела, т. е. качественно, мицеллярные структуры можно рассматривать как изолированные фазы. Применительно к битумам эта теория была развита Неллештейном и другими, рассматривавшими битум как коллоидные системы, где фазой являются асфальтены, окруженные оболочкой из смол, которые находятся в масляной среде.

Битумная мицелла является сложной системой различных веществ — от асфальтенового ядра, ассоциированного более или менее прочно со смолами разной молекулярной массы, до масел, являющихся дисперсионной средой. В вязких и твердых битумах, где мицеллы занимают большую часть системы, масла находятся из-за сольватации в связанном неподвижном состоянии. В жидких битумах мицеллы не связаны друг с другом и могут свободно перемещаться в среде масел.

Асфальтены могут пептизироваться (расщепляться) ароматическими углеводородами и коагулироваться растворителями метанового ряда. Нагревание битума и связанное с этим его разжижение объясняется постепенным переходом в растворенное или пептизированное состояние асфальтенов. Смолы, растворяясь в маслах, способствуют пептизации асфальтенов.

В зависимости от содержания и состава компонентов битума (масел, смол и асфальтенов) могут образовываться различные дисперсные структуры: золь, гель, золь-гель с определенными физико-механическими свойствами.

Структура золь характерна для битумов с повышенным количеством смол и масел, которых достаточно для образования наружных оболочек из адсорбционных смол на поверхности предельно пептизированных асфальтеновых ядер. При этом мицеллы не создают прочной и упругой структуры и могут свободно перемещаться в зависимости от вязкости среды. Эта структура характерна для жидких дорожных битумов при нормальной температуре и вязких битумах, нагретых до температуры, когда они переходят в жидкое состояние.

При относительно большей концентрации асфальтенов в битуме может образовываться **структура геля**, в которой асфальтеновые ядра укрупняются, мицеллы сближаются между собой и взаимодействуют друг с другом, образуя при этом пространственную структурную решетку, которая придает упругие свойства материалу. Эта структура характерна для твердых (упругих) битумов при нормальной температуре. Промежуточная структура золь-гель характерна для вязких битумов при нормальной температуре, у которых одновременно проявляются вязкие и упруго-пластические свойства.

Такими представлениями, вытекающими из мицеллярной теории, можно объяснить частично структуру каменноугольных дегтей, в которых дисперсной фазой является свободный углерод, а также некоторые битумные системы, получающиеся при смешении разных по составу нефтяных остатков и отличающиеся недостаточной их

устойчивостью как коллоидных систем. Распространить мицеллярную теорию на все битумы трудно, так как она не объясняет высокую термодинамическую устойчивость структуры битума, сохраняющуюся долгие годы без признаков распада, а также способность асфальтенов и смол к самопроизвольному растворению в среде масел без затраты энергии и стабилизатора.

По макромолекулярной теории, развитой В. В. Коршаком, В. А. Каргиным, А. А. Тагер, Э. И. Баргон, основанной на последних физико-химических исследованиях, высокомолекулярные органические смолы рассматриваются как растворы цепных разветвленных макромолекул. Макромолекулярная теория исходит из следующих положений:

1. Макромолекулы рассматриваются как цепи и могут иметь самые различные формы: линейные разветвленные, сетчатые и пространственно построенные (рис. 138).

2. Макромолекулы непрерывно изменяют свое положение, изменяют конфигурацию, вследствие чего принимают различные формы.

3. Свойства высокомолекулярных соединений зависят от величины молекулярной массы, формы цепи и ее гибкости, химического строения и величины сил ассоциации. Повышение молекулярной массы ведет к повышению межмолекулярного взаимодействия, а следовательно, и вязкости; содержание функциональных групп ведет к увеличению жесткости цепей.

Применительно к битуму ряд исследователей высказывает мнение, что он является сложным раствором смеси высокомолекулярных углеводородов, при этом асфальтены являются более или менее развитыми макромолекулами, находящимися в среде смол и масел. В этом растворе отдельные группы макромолекул в зависимости от вязкости среды могут менять свое положение и конфигурацию.

Битумы можно рассматривать как высокомолекулярные полимерные материалы, в которых молекулы состоят из многих химических групп (звеньев), и, будучи соединенными между собой, образуют разветвленные молекулы. Эти молекулы могут быть построены из регулярно или нерегулярно чередующихся звеньев различных типов, могут быть разветвленными и связанными в неправильные пространственные сетки. Особенностью для полимеров является наличие цепных молекул с резким различием характера



Рис. 139. Реологическая модель полимера по В. А. Каргину

связей вдоль цепи и между цепями. При этом цепные молекулы полимеров являются гибкими образованиями, способными принимать различную форму, конфигурацию, или, как принято называть, конформацию.

Углеводороды, составляющие битум, в зависимости от строения, содержания активных функциональных групп находятся в различном межмолекулярном взаимодействии и имеют различную деформируемость (гибкость) молекул, чем обуславливаются структурно-механические (реологические) свойства битума.

В зависимости от содержания отдельных групп соединений, их взаимодействия с другими компонентами и температуры битум может иметь более или менее выраженные упругие, вязкие или пластичные свойства. Поэтому правильное определение реологических свойств органических вяжущих материалов, характеризующих их молекулярное строение, имеет особо важные значения, поскольку позволяет установить связь между механическими свойствами (вязкостью, пластичностью) битума и его физико-химическим строением.

Для характеристики структурно-механических свойств различных материалов и реологии принято строить реологические модели, описывающие упругие, эластичные, вязкие и пластичные деформации реальных тел.

Рассматривая асфальтены, как более или менее пространственно развитые макромолекулы, находящиеся в среде смол и масел, реологическая модель битума, согласно работам В. А. Каргина, может быть представлена в следующем виде. Пространственно развитую макромолекулу битума (асфальтена) можно представить как цепочку, состоящую из сегментов, каждый из которых обладает высокоэластичными и другими свойствами и взаимодействует с окружающей вязкой средой (рис. 139). Таким образом, в модели каждого сегмента имеем три слагающих элемента — упругий, высокоэластичный и вязкий. Упругий элемент, естественно, изображается пружиной K_1 , вязкий — демпфером (т. е. шариком в вязкой жидкости) I и высокоэластичный — пружиной K и демпфером I_1 , включенных параллельно друг с другом. Учитывая, что упругая, высокоэластичная и необратимая деформация аддитивны, необходимо соединить между собой все три элемента модели сегмента последовательно. Таким образом, пришли к модели, где константы K , K_1 , I и I_1 имеют определенный физический смысл и связаны с молекулярными параметрами. Действительно, K — это константа упругости, определяемая деформацией валентных узлов и связей в цепных молекулах, K_1 — константа упругости (высокоэластичности), обусловленная изменением числа конформаций цепных молекул при их деформации вследствие наличия внутреннего вращения, I_1 характеризует внутреннюю подвижность молекул, т. е. кинематику переходов от одной конформации к другой, наконец, I характеризует внешнюю подвижность цепных молекул и может быть связана с вязкостью битума.

Чтобы получить общую модель битума, необходимо соединить в цепочку модели сегментов. Однако теперь подвижность сегментов цепных молекул, характеризующая константой I , обусловлена противодействием их передвижению со

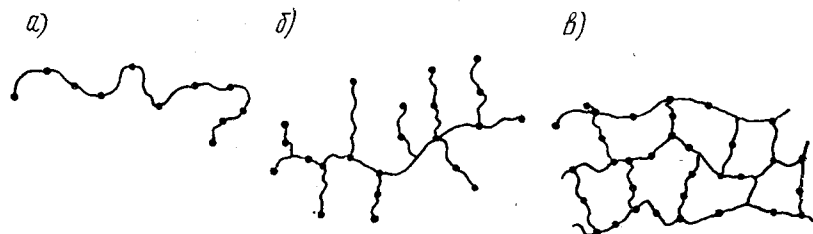


Рис. 138. Структурные схемы строения высокомолекулярных соединений:
а — линейное; б — разветвленные; в — сетчатые

стороны всех остальных цепных молекул, рассматриваемых как общая вязкая среда, в которой находится выбранная нами молекула. При этом вся цепная молекула должна рассматриваться как упруго-эластичная система с внутренним трением.

Таким образом, рассмотренная реологическая модель имеет глубокий физический смысл, а ее константы могут быть связаны с молекулярными параметрами, открывающими возможность исследования зависимости реологических свойств битума от его молекулярного строения.

§ 75. НЕФТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Нефть — горючее ископаемое, представляет собой маслянистую темно-бурую жидкость с присущим ей запахом керосина. Нефть — это сложная непостоянного состава смесь большого числа углеводородов различных классов, а также их соединений с кислородом, серой, азотом. Плотность нефти колеблется от 0,8 до 1 г/см³. Основными химическими элементами нефти является углерод 84—87%, водород 12—14%, кислород до 2%, сера 0,01—7%, азот до 0,2%.

Нефти различных месторождений неодинаковы по составу и свойствам. В зависимости от содержания основных образующих углеводородов нефти разделяются на метановые (C_nH_{2n+2} , нафтеновые (C_nH_{2n}), ароматические (C_nH_{2n-6}) и при смешанных составах — метано-нафтеновые и нафтенно-ароматические. Вместе с указанными углеводородами в нефти содержатся их кислородные, азотистые и сернистые соединения.

В зависимости от содержания асфальтосмолистых веществ нефти разделяют на высокосмолистые — асфальтосмолистых веществ более 20%, смолистые — 8—20% и малосмолистые — 6—8%. По содержанию твердых парафинов нефти подразделяют на: высокопарафиновые более 6%, парафиновые 2—6%, малопарафиновые менее 2%.

Нефти по составу и свойствам применительно к технологии их переработки разделяются на: а) легкие с большим содержанием светлых продуктов; б) тяжелые, высокосмолистые с малым содержанием светлых продуктов. В зависимости от состава нефти (содержание легких и тяжелых продуктов) применяются две схемы (варианта) ее переработки: топливная и масляная.

При топливном варианте используется нефть, богатая легкими составляющими, позволяющими получить из нее в большем количестве бензин, керосин, лигроин.

При масляном варианте применяется тяжелая нефть, содержащая масляные и смолистые компоненты и позволяющая получить масляные продукты. Переработка нефти осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах и имеет целью выделить из ее состава топливо, смазочные материалы, а также получить ряд других важных для народного хозяйства продуктов. Технологические процессы переработки нефти осуществляются в трех основных направлениях:

1. *Фракционирование (дистилляция) нефти* на составляющие группы углеводородов по их температуре кипения или конденсации.

Фракционная разгонка нефти заключается в том, что при постепенном нагревании испаряются отдельные фракции углеводородов,

Таблица 62

Продукты фракционирования нефти	Физические свойства фракций	
Светлые продукты	Температура кипения, °C	Плотность
Бензиновый дистиллят	50—200	0,71—0,76
Лигроиновый »	200—230	0,76—0,79
Керосиновый »	230—315	0,79—0,87
Масляные продукты	Температура вспышки, °C	Плотность
Соляренный дистиллят	130—165	0,87—0,89
Парафиновый »	165—190	0,89—0,92
Масла для двигателей	190—300	0,92—0,95
Остаточные продукты ¹		
Мазут (масляный)	190—250	0,93—0,97
Гудрон (остаточный битум)	200—300	0,93—1,00

¹ На заводах, работающих по масляному варианту, в остатке получают мазут, а по топливному — гудрон.

которые в дальнейшем подвергают отдельной конденсации паров. Этот процесс дает возможность разделять нефть на фракции в зависимости от температуры их кипения. Продукты, получаемые при фракционной перегонке нефти, приведены в табл. 62.

2. *Крекирование* — химическое расщепление молекул тяжелой части нефти, в результате чего получают более легкие (бензино-керосиновые) углеводороды и смолистые вещества.

Крекинг-процесс был изобретен в России в 1891 г. инж. В. Г. Шутовым для переработки тяжелых нефтяных продуктов (мазут, соляренный дистиллят, нефть и пр.) с целью получения дополнительного количества легких углеводородов (бензина и керосина).

При нагревании нефтепродуктов до 425—650° С при избыточном давлении до 50 кгс/см² (для удержания углеводорода в жидкой фазе) тяжелые молекулы сложных углеводородов распадаются, образуя более простые (легкие) и устойчивые углеводороды и «осколки» распада — неустойчивые вещества. Последние способны к процессам полимеризации, в результате чего образуются сложные (тяжелые) соединения — асфальтосмолистые вещества. После фракционирования продуктов крекинга нефти выделяются бензино-керосиновые продукты и крекинг-остаток, состоящий из асфальтенов, смол и тяжелых масел. Крекинг-остаток используют как жидкий битум марок Б-5 и Б-6 (МГ-40/70, МГ-70/130), реже он служит сырьем для изготовления вязких дорожных крекинг-битумов.

3. *Специальные виды переработки отдельных частей фракций нефти* с целью получения ряда нефтепродуктов. К специальным видам переработки отдельных частей нефти относится *селективная очистка* дистиллятного масляного сырья фенолом, фурфуролом, смесью фенола с креозолом. После регенерации растворителя из экстракта (остатка) получают жидкий битум, который в дальнейшем используют как добавку к остаткам (битумам) деасфальтиза-

ции как к гудрону при окислении его на битум для получения требуемой вязкости. Другим видом очистки (обессмоливания) гудрона является его растворение в пропане. Смолы и асфальтены не растворяются в пропане, поэтому раствор разделяется на два слоя — масляный и битумный. После регенерации пропана из битумного раствора получают битум-деасфальтизации¹, который отличается высокой вязкостью и твердостью, поэтому в дальнейшем его смешивают с другими более жидкими нефтяными остатками.

§ 76. ПРОИЗВОДСТВО НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ

В настоящее время применяются следующие способы получения нефтяных битумов: 1) атмосферно-вакуумная перегонка сырой нефти с получением остатка, называемого гудроном, который при переработке высокосмолистых нефтей представляет собой *остаточный битум*; 2) окисление нефтяных остатков — гудронов, крекинг-остатков кислородом воздуха, при этом получают *окисленные битумы*; 3) смешение остатков, получающихся при переработке нефти, битумов деасфальтизации с экстрактами от очистки масляных фракций — процесс получения битумов компаундированием.

Существуют и сочетания указанных выше способов (рис. 140). **Производство остаточных битумов.** Сырьем для производства остаточных битумов после атмосферной или вакуумной перегонки служат мазуты, гудрон, а также другие смолистые остатки, образующиеся при перегонке нефти. При атмосферно-вакуумной перегонке высокосмолистой нефти (как остаток после отбора топливных и масляных фракций) получают остаточный битум. При перегонке нефти с меньшим содержанием смолистых веществ получают менее вязкий остаток по свойствам, отвечающим требованиям на жидкий дорожный битум СГ-70/130, СГ-130/200.

¹ Наряду с приведенным наименованием некоторые авторы этот продукт называют асфальт-деасфальтизации.

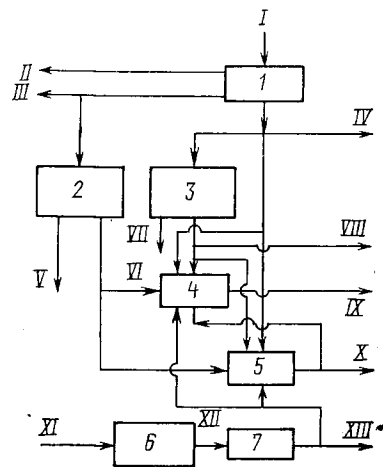


Рис. 140. Основные способы получения нефтяных битумов:

1 — атмосферная и вакуумная перегонка; 2 — селективная очистка; 3 — деасфальтизация; 4 — компаундирование; 5 — окисление; 6 — крекинг; 7 — перегонка

Линии: I — нефть; II — моторные топлива; III — масляные дистилляты; IV — остаточные битумы; V — рафинат; VI — экстракт; VII — деасфальтизат; VIII — битумы деасфальтизации; IX — компаундированные битумы; X — окисленные битумы; XI — сырье на крекинг; XII — крекинг-остаток; XIII — битумы из крекинг-остатка

Производство окисленных битумов. Получение битумов методом окисления является одним из наиболее распространенных методов. Метод окисления может применяться при переработке смолистых и малосмолистых нефтей и позволяет получать высококачественные дорожные строительные и специальные битумы. В отличие от других методов (перегонки, экстракции), когда асфальтосмолистые компоненты почти не изменяются, при окислении происходят существенные изменения их качественного и количественного состава. Нефтяные углеводороды окисляются одновременно в двух направле-

ниях: углеводороды $\left\{ \begin{array}{l} \text{кислоты—оксикислоты—асфальтогеновые кислоты} \\ \text{смолы—асфальтены—карбены—карбоиды.} \end{array} \right.$

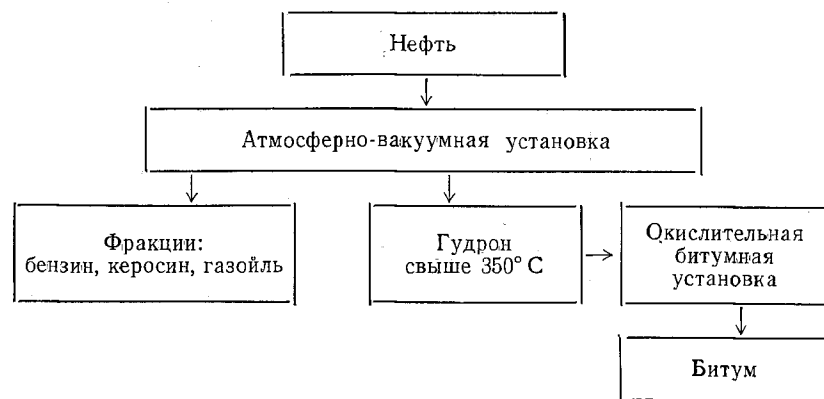
В процессе производства окисленных битумов кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в сырье, образуя водяные пары. При этом соотношение С/Н повышается. Возрастающая потеря водорода сопровождается полимеризацией и сгущением сырья до заданной консистенции (марки битума).

Окисление — процесс экзотермический. Основными факторами, влияющими на процесс окисления гудрона, является исходная температура размягчения гудрона, а также температура и продолжительность окисления, расход воздуха.

Окисленные битумы получают главным образом на заводах, работающих по топливному варианту, использующих нефти, богатые легкими фракциями. При этом применяется метод периодического окисления или непрерывного окисления в трубчатых змеевиках.

Сырая нефть подвергается фракционной разгонке на атмосферно-вакуумной трубчатой установке. Получающийся остаток (гудрон) с температурой размягчения 32—45° С поступает на окислительную битумную установку.

В процессе окисления кислород взаимодействует с гудроном и его компонентами — протекает реакция дегидрополиконденсации, ведущая к образованию высокомолекулярных компонентов. При



этом реакции протекают в следующих направлениях: образование сложных, эфирных групп (COOR, где R — углеводородный остаток) и образование углеродистых связей (C—C).

Отношение числа углеводородных связей к эфирным группам увеличивается с повышением температуры. При этом меняются свойства битума. Так, при повышении температуры окисления с 210 до 250° С увеличивается растяжимость и глубина проникания иглы, а при повышении температуры выше 250° С соответственно снижается. Таким образом, изменяя температуру окисления и его продолжительность, можно регулировать свойства получаемого битума (табл. 63, рис. 141, 142).

В зависимости от сырья, температуры и требуемой марки битума окисление производят в течение 4—6 ч. Когда цикл окисления закончен, битум откачивают в железнодорожные цистерны и бункера или направляют его на формовку.

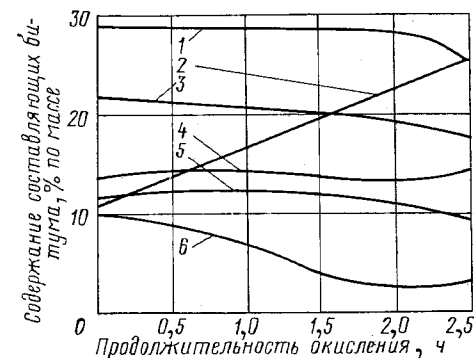
Для интенсификации процесса окисления применяется способ окисления при перемешивании или в состоянии пены, эмульсии. Большая поверхность окисления, высокая степень контакта воздуха с меньшим пребыванием смеси при высокой температуре 250—

Таблица 63

Показатели	Исходный гудрон	Изменение свойств битума в зависимости от продолжительности окисления					
		БНД-130/200	БНД-90/130	БНД-60/90	БНД-40/60	БН-IV	БН-V
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при:							
25° С, 100 г, 5 с	—	199	130	71	48	31	20
0° С, 200 г, 60 с	—	58	48	36	20	—	—
Температура, °С:							
размягчения	20	41	46	54,5	58	77	99,5
хрупкости	—30	—28	—26	—23	—22	—20	—11
Растяжимость при 25° С, см	—	60	70	42	55	4,1	4,0
Интервал пластичности, °С	—	69	72	77,5	80	97,0	110,5
Групповой химический состав, %:							
парафино-нафеновые	13	12,4	12,6	12,8	12,6	12,8	13,2
моноциклические	14,6	14,4	14,2	14,0	10,2	11,4	11,8
ароматические	25,8	25,7	21,4	20,6	22,9	19,0	14,4
бициклические ароматические	3	—	2,2	1,9	1,5	1,6	—
полициклические ароматические	56,4	52,5	50,4	49,3	47,2	44,8	39,4
Всего	25,1	14,1	14,9	13,2	15,2	11,7	10,1
бензолные смолы	14,9	12,9	12,3	12,1	12,0	12,2	15,1
спирто-бензолные смолы	3,6	2,05	22,4	25,4	25,6	31,3	35,4
асфальтены	—	2,04	1,86	1,62	1,62	1,27	1,06
Степень дисперсности							

Рис. 141. Изменение группового химического состава битума от продолжительности окисления на установке колонного типа при температуре 250° С:

1 — смолы; 2 — асфальтены; 3 — бициклические ароматические соединения; 4 — парафино-нафеновые; 5, 6 — моноциклические ароматические



300° С изменяют характер окислительного процесса. В последнее время предложен бескомпрессорный способ непрерывного окисления битума. Сырье при температуре 170—210° С поступает в секции реактора, в которых установлены диспергаторы, при вращении (480—960 об/мин) они засасывают и распыляют воздух в окисляемом продукте. Наряду с интенсификацией процесса улучшается качество битума за счет снижения побочных окислительных реакций.

Для ускорения процесса окисления имеются указания на применение катализаторов: хлорида цинка, меди, железа, алюминия, пятиокси фосфора, серной кислоты, сульфидов и ряда других.

Исследования, проведенные Союздорнии, БашНИИ, о влиянии природы нефти и технологии ее переработки на свойства битумов показали, что природа нефти и качество промежуточного продукта (смолистого остатка: мазута, гудрона) влияет на химический состав и свойства битумов. Так, при окислении смолистых остатков из тяжелых высокосмолистых нефтей повышение вязкости происходит в основном за счет превращения смол в асфальтены, превращение углеводородов в смолы играет второстепенную роль. При окислении остатков из легких нефтей основным источником образования смол и асфальтенов является углеводородная часть сырья. В этом случае битумы получаются более жесткими и хрупкими, так как в них содержатся карбены и карбоиды, а асфальтены представлены более высококонденсированными ароматическими структурами. Битумы, полученные окислением смолистых остатков из различных

Рис. 142. Зависимость температуры размягчения и пенетрации битума от продолжительности окисления:

1 — температура размягчения битума при окислении с механическим перемешиванием; 2 — то же, без перемешивания; 3 — пенетрация битума при окислении с механическим перемешиванием; 4 — то же, без перемешивания

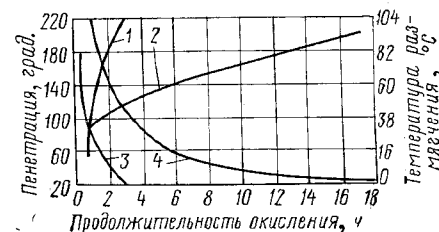


Таблица 64

Нефть	Молекулярная масса	Кислотное число	Содержание, % по массе							
			Углеводороды				Смолы		Асфальтены	Твердые парафины
			парафино-нафтеновые	моноклоароматические	бициклоароматические	полициклоароматические	спиртобензольные	петролейно-бензольные		
Ильская тяжелая	838	3,23	4,95	23,14	14,18	3,25	23,83	13,11	16,90	0,94
Ярегская	981	0,71	18,00	13,27	11,76	2,18	26,99	6,95	21,03	0,62
Анастасиевская	780	0,64	12,61	16,75	14,52	2,35	21,73	14,17	18,02	2,50
Бузовинская	804	0,84	20,03	12,29	8,21	—	31,41	11,28	15,87	4,95
Ромашкинская-Бугульминская	795	1,14	16,03	10,55	19,58	2,75	18,68	9,77	23,43	4,80
Ромашкинская	881	0,87	10,64	15,38	15,68	1,30	24,87	14,80	18,36	2,98
Туймазинская	559	0,78	6,35	25,94	13,38	1,20	5,90	30,89	17,24	3,70
Бориславская	944	0,77	10,00	16,91	16,61	3,09	25,76	15,46	12,04	9,36

нефтей, значительно отличаются между собой по компонентному составу, молекулярной массе, кислотному числу и другим физико-химическим свойствам (табл. 64).

Получение битумов методом смешения (компаундирования).

В настоящее время этим методом получают большое количество дорожных битумов. Смешение, или компаундирование битумов — это вторичный процесс их переработки, который производят чаще всего на нефтеперерабатывающих заводах или на месте потребления. Битум, или смолистый остаток, полученный перегонкой, окислением, экстракцией или деасфальтизацией, не всегда удовлетворяет требованиям по всем показателям, предъявляемым к дорожным битумам. В этом случае путем соответствующего смешения битума с другим смолистым остатком можно значительно улучшить его свойства и довести до требуемых. Например, на заводах, работающих по масляному варианту, нефть поступает на атмосферно-вакуумную трубчатую установку, на которой выделяют топливные и масляные дистилляты, в остатке получают гудрон с температурой размягчения 32—48°С. Масляные дистилляты для удаления смолистых веществ подвергают очистке растворителями (фенолом). В результате очистки получают масляные рафинаты и в качестве отхода *дистиллятный экстракт*.

Гудрон в атмосферно-вакуумной установке для дополнительного извлечения из него тяжелых масляных составляющих (до 30% от количества гудрона) направляют на деасфальтизацию. Процесс деасфальтизации заключается в обработке гудрона жидким пропаном (пектаном или бутаном). Ввиду того что высокомолекулярные смолистые и асфальтеновые вещества плохо растворяются в пропане, происходит разделение на деасфальтированный гудрон и битум деасфальтизации.

В дальнейшем получение битума может производиться в двух направлениях: смешение битума деасфальтизации с дистиллятами

и остаточными экстрактами или дополнительным окислением битума деасфальтизации и смешением его с дистиллятным экстрактом.

Для получения битумов требуемых свойств применяют их взаимное смешение или смешение с другими смолистыми остатками, образующимися при переработке нефти и нефтепродуктов. При смешении битумов различных свойств и генезиса необходимо, чтобы смешиваемые компоненты были близки по величине поверхностного натяжения. Смешение битумов с дегтями возможно в ограниченном количестве (15—20%). Равномерность смешения проверяют по температуре размягчения смеси, которая должна соответствовать средневзвешенному значению температур размягчения составляющих компонентов. Технология приготовления смешанных битумов сводится к разогреву их до жидкой консистенции и смешению. Методом смешения готовят большинство жидких битумов. В последнее время крупные дорожно-строительные организации в качестве добавок к битумам используют различные отходы при производстве каменноугольных дегтей и других синтетических смол (кубовые остатки полистирольных, кумароновых смол), синтетических жирных кислот.

Большое влияние на свойства битума оказывает технологический процесс его получения. При вакуумной перегонке и глубоком отборе масляных фракций увеличивается содержание смол. Полученный *остаточный битум* обладает большой растяжимостью при 25°С, высокой чувствительностью к изменению температуры, малой теплоустойчивостью и пластичностью при отрицательных температурах. Погодоустойчивость битума зависит от природы нефти. Из высокосмолистых нефтей получают погодоустойчивые битумы. При снижении содержания асфальтосмолистых компонентов в исходной нефти погодоустойчивость остаточных битумов снижается и почти всегда ниже, чем в окисленных.

При окислении происходит интенсивное образование асфальтенов и меньше смол, это способствует повышению теплоустойчивости битума. При длительном окислении снижаются пластические свойства битума. При применении метода непрерывного окисления получают битумы с большим содержанием смол.

Битумы деасфальтизации содержат повышенное количество смол и относительно мало асфальтенов. Повышенное содержание смол способствует высокой когезии и растяжимости при 25°С. Увеличение содержания асфальтенов повышает теплоустойчивость.

Таким образом, при получении битумов необходимо учитывать свойства нефти и смолистых остатков, выбирая технологию их переработки таким образом, чтобы получать битумы требуемых физико-химических и механических свойств.

§ 77. ПОЛУТВЕРДЫЕ И ТВЕРДЫЕ БИТУМЫ

Многообразие используемых материалов и методов производства строительных и дорожных работ требует применения битумов с различными свойствами. В соответствии с этим нефтеперерабаты-

Показатели	Марки битумов								Методы испытания ГОСТ №
	Полутвердые ГОСТ 11954—66					Твердые ГОСТ 6617—66			
	БНД-200/300	БНД-130/200	БНД-90/130	БНД-60/90	БНД-40/60	БН-IV	БН-V	БН-VK	
Глубина проника- ния иглы: при 25° С (100 г, 5 с)	201—300	131—200	91—130	61—90	41—60	21—40	5—20	20	11501—65
при 0° С (200 г, 60 с) не менее	45	35	28	20	13	Не нормируется			11501—65
Растяжимость при 25° С, не менее	Не норми- руется	65	60	50	40	3	1	Не норми- руется	11505—65
Температура раз- мягчения, °С, не ме- нее	35	40	45	48	52	70	90	90	11506—65
Температура хруп- кости, °С, не менее	20	—18	—17	—15	—10				11507—65
Испытание на сцеп- ление с мрамором или вольским песком				Выдерживает					11508—65

Продолжение табл. 65

Продолжение табл. 1

Показатели	Марки битумов								Методы испытания ГОСТ №
	Полутвердые ГОСТ 11954—66					Твердые ГОСТ 6617—66			
	БНД-200/300	БНД-130/200	БНД-90/130	БНД-60/90	БНД-40/60	БН-IV	БН-V	БН-VK	
Глубина проникания иглы в остаток после 5 ч прогрева при 160°С, % от первоначальной величины, не менее	Не нормируется	60	70	80	80	60	60	60	11501—65
Температура размягчения после 5 ч прогрева слоя 1 мм при 160°С	Не нормируется, определяется для накопления данных					Потеря в массе, %, не более			11506—65
						1	1	1	
Содержание водорастворимых соединений, %, не более	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	11501—65
Температура вспышки, °С не ниже	180	200	200	200	200	230	230	230	4333—48

Примечания. 1. Для битумов с добавками поверхностно-активных веществ допускается снижение показателя растяжимости при 25° С на 10% и увеличение содержания водорастворимых соединений до 0,5%. В битумах, вырабатываемых на бакни-ских нефтеперерабатывающих заводах, допускается увеличение содержания водорастворимых соединений до 0,6%.

2. Нефти, из которых можно получить вязкие битумы высокого качества для дорожных и аэродромных работ, имеются в ряде месторождений: Ромашкинском, Туймазинском, Павловском, Артемовском, Арланском, Бинагадинском, так как в них имеется необходимое соотношение асфальтенов А, силикагелевых смол С и парафинов П. Эти соотношения должны находиться по формуле $(A+C-2,5\Pi) > 8$ при $(A+C) > 6$, где А, С и П определяются в процентах по массе.

вающая промышленность СССР для строительных целей выпускает следующие виды нефтяных битумов: твердые (ГОСТ 6617—56) и для дорожно-строительных работ (действуют два ГОСТа 1952 и 1966 гг.) — твердые, полутвердые и жидкие.

Нефтяные твердые и полутвердые битумы применяют для строительства дорожных покрытий, производства гидроизоляционных и кровельных материалов. В зависимости от свойств их разделяют на марки (табл. 65). Основными показателями свойств нефтяных вязких битумов является глубина проникания иглы (пенетрация), растяжимость (дуктильность), температура размягчения, температура хрупкости, сцепление с мрамором или вольским песком и свойства остатка после пятичасового прогрева при температуре 160°С.

Определение глубины погружения иглы при 25 и 0°, а также растяжимости, температуры размягчения и хрупкости характеризует структурно-реологические свойства битума и их изменение в зависимости от температуры. Определение свойств остатка после прогрева и водорастворимость приблизительно характеризует стабильность, водо- и теплоустойчивость битумов. Существенным недостатком действующих ГОСТов является отсутствие требований и метода определения погодоустойчивости органических вяжущих материалов. Область применения нефтяных битумов приведена в табл. 66.

Битумы марок БНД-40/60, БН-IV, БН-VK применяются для изготовления гидроизоляционных, кровельных материалов (рубероида), литого асфальта, получения смешанных вязких битумов, а также в лакокрасочной и электропромышленности.

Таблица 66

Марки битума	Область применения
БНД-200/300	Для поверхностной обработки дорожных покрытий. Для обработки грунтов. Для теплых асфальтобетонных и битумоминеральных смесей
БНД-130/200	Для поверхностной обработки дорожных покрытий при слабых каменных материалах ($R_{сж} = 300—600$ кгс/см ²)
БНД-90/130	В асфальтобетоне, применяемом для устройства покрытий в районах с умеренным климатом. Для пропитки щебеночных и гравийных покрытий
БНД-60/90	В асфальтобетоне, применяемом для устройства покрытий в южных районах. Для изготовления смешанных (вязких и жидких) дорожных битумов. Для кровельных и гидроизоляционных работ
БНД-60/90	В асфальтобетоне, применяемом для устройства покрытий, на автомагистралях при тяжелом движении, в районах с континентальным климатом
БНД-40/60	В асфальтобетоне, применяемом для устройства покрытий на автомагистралях, при тяжелом движении в южных районах. Для приготовления литого асфальтобетона. Для кровельных гидроизоляционных работ

§ 78. ЖИДКИЕ БИТУМЫ

Жидкие битумы предназначены для применения их в холодном или подогретом состоянии при температуре от 20 до 120°С, поэтому при нормальной температуре они обладают сравнительно небольшой вязкостью, которая обеспечивает необходимую удобообрабатываемость смесей.

После обработки вязкость жидких битумов повышается вследствие испарения содержащихся в них летучих масел и частично окисления и полимеризации. Через некоторый промежуток времени жидкие битумы в дорожных покрытиях постепенно загустевают и приобретают вязкость, близкую к вязким дорожным битумам. При этом прочность и устойчивость дорожных покрытий нарастает по мере загустевания жидкого битума. Изменение вязкости битумов в период работы их в дорожном покрытии приведено на рис. 143.

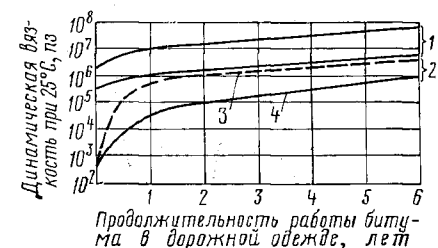
Основными свойствами жидких дорожных битумов являются: вязкость (технологическая), скорость загустевания, характеризующая содержанием летучих масел (фракционным составом), и вязкопластичные свойства после испарения летучих масел. Дополнительной характеристикой качества жидких битумов являются те же свойства, что и вязких битумов: прилипание, погодоустойчивость и др. Вязкость жидких битумов характеризуется временем истечения 50 мл материала через калиброванное отверстие. Вязкость определяют с помощью стандартного вискозиметра и выражают в секундах (рис. 144). Одна секунда по стандартному вискозиметру примерно соответствует 0,25—0,30 пз абсолютной вязкости.

Для расширения диапазона измерения вязкости жидких битумов и дегтей в вискозиметре применяются сточные отверстия различного диаметра (3; 5 и 10 мм) с испытанием при различных температурах. Вязкость жидких битумов в СССР принято определять при C_{25}^5 и C_{60}^5 (верхний индекс — это диаметр сточного отверстия в миллиметрах, нижний — температура испытания). Вязкость дорожных жидких битумов находится в пределах $C_{60}^5 = 5—200$ с.

Для определения вязкости масел, нефти и других материалов в СССР применяется вискозиметр Энглера. Определение вязкости этим способом основано на скорости истечения материала, но вискозиметр отличается размерами сосуда, сточного отверстия, а также исчислением показателя вязкости. Вязкость по Энглеру выражается как удельная вязкость по отношению к вязкости воды:

Рис. 143. Изменение вязкости битумов за период работы их в дорожных покрытиях:

1 — вязкие битумы; 2 — жидкие битумы; 3 — среднегустеющие; 4 — медленногустеющие



$$E_t = \frac{T}{W_{20}},$$

где T — время истечения 200 мл материала, с; W_{20} — время истечения воды в том же объеме (водное число), определенное при 20° С, находящееся в пределах 50—52 с.

Фракционный состав жидких битумов устанавливает количество и качество летучих фракций и является косвенным показателем скорости загустевания битумов в дорожных покрытиях. К летучим маслам относят фракции, отгоняемые в пределах до 360° С. Чем больше содержание этих масел и ниже их температура кипения, тем быстрее происходит процесс загустевания жидкого битума. Фракционный состав жидких битумов определяют перегонкой в колбе с холодильником (рис. 145). При перегонке отбирают фракции масел, отгоняемые в пределах 225, 315 и 360° С и выражающие состав в процентах по отношению к объему жидкого битума. Вязко-пластичные свойства остатков жидкого битума класса А (среднегустеющих) после удаления масел, выкипающих до 360° С, характеризуются глубиной проникания стандартной иглы при 25° С, растяжимостью и температурой размягчения. Кроме этого, определяется сцепление с мрамором, содержание водорастворимых соединений и температура вспышки.

Нефтяные жидкие битумы в соответствии с ГОСТ 11955—66 выпускают двух классов: А — среднегустеющие и Б — медленногустеющие (табл. 67).

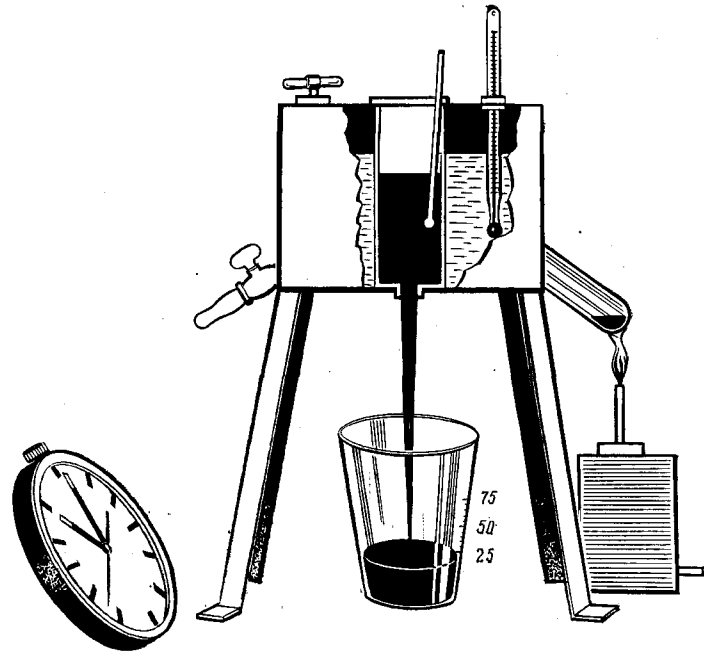


Рис. 144. Стандартный вискозиметр

Таблица 67

Показатели	Нормы по маркам									Методы испытания ГОСТ №	
	Класс А среднегустеющие					Класс Б медленногустеющие					
	СГ-15/25	СГ-25/40	СГ-40/70	СГ-70/130	СГ-130/200	МГ-25/40	МГ-40/70	МГ-70/130	МГ-130/200		
Вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60°С, с	15—25	25—40	40—70	70—130	130—200	25—40	40—70	70—130	130—200	11503—65	
Динамическая вязкость при 60°С, пз	Не нормируется, определяется для накопления данных										
Фракционный состав, % по объему, перегоняется:	6	4	4	2	2	Не нормируется					11504—65
до 225°С, не более	16—24	12—20	10—20	9—17	5—4	»					11506—65
» 315°С, в пределах	30	25	23	20	18	»					
» 360°С, не более	Не нормируется										11501—65
Температура размягчения, °С, не ниже	Не нормируется										
Свойства остатка битума после отбора фракций, выкипающих до 360°С:	100—230	100—230	100—230	100—230	100—230	Не нормируется					11505—65
глубина проникания иглы при 25°С	60	60	60	60	60	»					11506—65
растяжимость при 25°С, см, не ниже	40	40	40	40	40	»					4333—48
температура размягчения, °С, не ниже	60	60	65	70	70	100	100	120	120	11508—65	
Температура вспышки	Выдерживает										11510—65
Испытание на сцепление с мрамором или песком	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
Содержание водорастворимых соединений, %, не более	Следы										2477—49
Содержание воды на месте производства, %, не более	Следы										

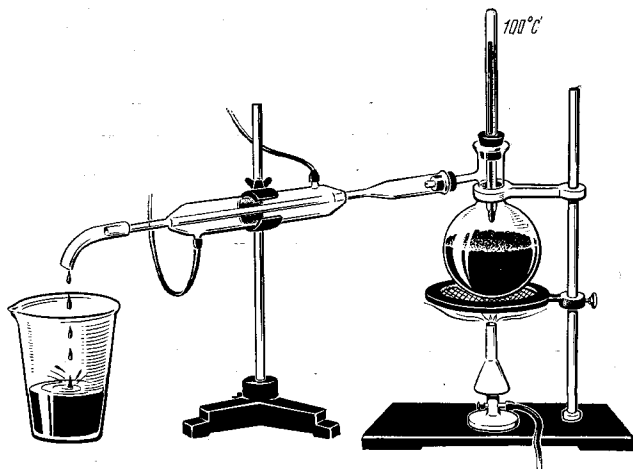


Рис. 145. Прибор для фракционной разгонки жидких битумов и дегтей

Получение жидких битумов. Жидкие битумы СГ, как правило, изготавливают путем разжижения вязких битумов легкими органическими продуктами. Жидкие битумы МГ могут быть природными (тяжелые смолистые нефти), остаточными, окисленными или разжиженными. Разжижителями для приготовления жидких битумов служат органические жидкости, которые выбирают по фракционному составу и полярности в зависимости от получаемого класса жидкого битума и по свойствам разжижаемого вязкого битума. В качестве разжижителя для среднегустеющих битумов используются керосин и лигроин, который состоит из фракций 150—360°С, и для медленногустеющих — масляные продукты. При добавлении разжижителя происходит изменение дисперсной структуры вязкого битума. Отдельные разжижители могут вызвать коагуляцию дисперсной фазы битума и ухудшить его вяжущие свойства, другие пептизируют асфальтеновые ядра (мицеллу), не понижая качества битума.

К разжижителям, не ухудшающим вяжущих свойств разжиженных битумов, относят дегтевые (каменноугольные и торфяные) и сланцевые масляные продукты. Добавки бензина, лигроина и керосина прямой гонки несколько нарушают структуру битума. Лучшие результаты дают обычно добавки к нефтяным битумам крекинг-керосина, крекинг-бензина и более тяжелых нефтепродуктов (беспарафинистого мазута, крекинг-остатка и др.). Расслаивающиеся смеси получают при добавках нефтебитума (свыше 10—15%) к каменноугольным высокотемпературным дегтям. Ориентировочные составы разжиженных битумов указаны в табл. 68. Количественное содержание разжижителя устанавливают в зависимости от назначенной вязкости разжиженного битума.

Применение битумов различных классов (А, Б) связано с потребностью получать битумы с различной скоростью загустевания.

Класс и марка разжиженного материала	Составляющие материалы	
	Вязкий составляющий материал	Разжижитель
Класс А (все марки)	Нефтяной битум марки БНД-200/300 до БНД-40/60	Крекинг-керосин или керосиновая фракция (не более 20—25%), дорожное каменноугольное масло (сорт А)
Класс Б (все марки)	Нефтяной битум марок БНД-200/300 до БНД-40/60	Природная смолистая нефть (не более 35%), беспарафинистый битум (не более 35%), крекинг-остаток, сланцевый мазут, дорожное каменноугольное масло (сорт Б)

Скорость загустевания зависит от условий испарения летучих фракций и требований в отношении скорости повышения прочности дорожных одежд после их обработки.

В поверхностных слоях сооружений, пористых смесях, в условиях жаркого и сухого климата применяются медленногустеющие битумы (класс Б) как более экономичные материалы. При затруднительных условиях испарения летучих фракций, а также при необходимости быстрого нарастания прочности дорожных покрытий используется жидкий битум класса А.

Таблица 69

Марки жидкого битума	Область применения
СГ-15/25	Для обеспыливания и предварительной обработки дорожных покрытий
СГ-25/40	Для обработки грунтовых, гравийных и щебеночных смесей холодным способом на полотне дорог
МГ и СГ-40/70	Для поверхностной обработки дорожных покрытий.
МГ и СГ-70/130	Для обработки гравийных и щебеночных смесей холодным способом в смесительных установках. Для изготовления холодных асфальтовых смесей
МГ и СГ-130/200	

Марки жидких битумов в пределах одного класса разделяют по вязкости: их используют в зависимости от способов обработки дорожных одежд и характера обрабатываемых минеральных материалов. Область применения шести марок жидкого битума приведена в табл. 69.

§ 79. ПРИРОДНЫЕ БИТУМЫ

Месторождения природных битумов и асфальтов в зависимости от условий залегания разделяют на три группы: 1) *пластовые* — битуминозные известняки, доломиты, песчаники (так называемые «битуминозные породы»); в пластовых месторождениях породы пропитаны битумом, содержащимся в количестве от 5 до 20% с темпера-

турой размягчения до 100—110°С; 2) *жильные* — битум содержит незначительное количество минеральных примесей, чаще асфальтовый с температурой размягчения выше 100°С; 3) *поверхностные* — месторождения образуются в результате выхода битумов на поверхность.

В СССР встречаются все виды месторождений природного битума в районе Тбилиси, Баку, Актюбинска (Велиховское), в Красноярском крае, на Камчатке, Сахалине, Кавказе, в Крыму, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии. В настоящее время промышленное значение имеют Сызранское, Садкинское, Ижменское и некоторые другие месторождения. Остальные месторождения имеют пока местное значение.

В качестве дорожного жидкого природного битума применяются иногда тяжелые, высокосмолистые нефти, например Учкизылская, Джаркурганская и другие, удовлетворяющие требованиям на жидкие нефтяные битумы класса Б.

Вязкие природные битумы по качеству не уступают нефтяным, а иногда их технические свойства бывают выше последних. Характерной особенностью природных битумов является высокая погодоустойчивость и хорошее прилипание к поверхности каменных материалов.

Переработку асфальтовых пород осуществляют: а) извлечением чистого битума, применяемого главным образом в лакокрасочной промышленности; б) получением асфальтовых материалов (асфальтового порошка), асфальтовой мастики или холодного асфальтобетона, используемых в строительстве.

Извлечение битума из асфальтовых пород целесообразно лишь в том случае, когда содержание его составляет не менее 10—15%. Извлечение битума производят вываркой в воде или экстракцией органическими растворителями.

Основным и более экономичным методом является извлечение природного битума вываркой в воде, экстракция органическими растворителями применяется редко ввиду ее неэкономичности (неизбежная потеря растворителя).

Выварка битума из битуминозной породы производится на месте добычи следующим образом. Асфальтовую породу измельчают до зерен 6—8 мм и загружают в котел с водой, подкисленной соляной кислотой, оборудованный мешалкой. Воду в котле нагревают до кипения, при этом битум отделяется от породы и всплывает в виде пены. Всплывший битум переводят в отстойники для отделения от воды и минеральных примесей. Если битум имеет недостаточную вязкость, его продувают перегретым паром или воздухом.

Структура природных битумов, их физико-химические и физико-механические свойства близки к свойствам нефтяных битумов. В большинстве природных битумов соединений, содержащих кислород, и, в частности, асфальтогеновых кислот больше, чем в нефтяных, поэтому они хорошо прилипают к каменным материалам. Технические требования к природным битумам аналогичны требованиям на нефтяные битумы.

Битуминозные породы без извлечения битума могут быть использованы также для получения асфальтовых мастик, асфальтового порошка, асфальтовых пластмасс и антикоррозионных покрытий. Асфальтобетонная мастика представляет собой смесь природного (иногда с добавкой нефтяного) битума с минеральным тонкоизмельченным материалом. Содержание битума в мастике составляет не менее 13%. Асфальтовый порошок содержит битума около 7% и используется для изготовления асфальтовых мастик, бетонов.

§ 80. СЛАНЦЕВЫЕ БИТУМЫ

Сланцевые битумы¹ являются органическими вяжущими материалами, которые получают при нагревании горючих сланцев без доступа воздуха. Дорожные сланцевые битумы бывают вязкие и жидкие.

В настоящее время промышленное производство сланцевых битумов имеется главным образом в Эстонской ССР. В ближайшее время намечается развитие сланцевой промышленности в других районах СССР (Чувашская АССР, Среднее и Нижнее Поволжье и др.), что позволит расширить производство этих битумов.

Сланцевые битумы получают при нагревании сланцев в специальных генераторах или туннельных печах до 550°С, при этом выделяется газ, низкотемпературная смола в количестве 15—20% от массы сланца и полукокс. В процессе переработки низкотемпературную сланцевую смолу разделяют на следующие фракции: а) автомобильный бензин — с началом кипения смолы от 180 до 225°С; б) тракторное топливо — от 180 до 225°С; в) дизельное топливо — от 225 до 325°С; г) мазут или битумная фракция как остаток после отгона всех фракций до 300 или 325°С. Этот остаток составляет около 60% и используется для получения остаточного или окисленного битума или может быть применен как жидкий сланцевый битум.

По составу и свойствам сланцевые битумы несколько отличаются от нефтяных. В сланцевых битумах также определяют групповой состав (содержание масел, смол, асфальтенов). Содержание асфальтенов и смол в сланцевых битумах больше, а масел меньше.

Наличие в сланцевых битумах большого количества кислородных и азотистых соединений, а также повышенная их способность растворяться в полярных растворителях (ацетоне и спирте) указывает на повышенное содержание в них полярных соединений. Технические условия на сланцевые дорожные и жидкие битумы, утвержденные Главдорстроем, приведены в табл. 70.

Сланцевые битумы имеют высокую растяжимость при 25°С обычно более 100 см, поэтому она и не нормируется. Сланцевые битумы в большей степени, чем нефтяные, изменяют свои свойства

¹ Термин «сланцевые битумы» не совсем точен. По свойствам и химическому составу сланцевые битумы приближаются к битумным материалам, а по способу получения — к дегтям.

Таблица 70

Свойства	Показатели свойств по маркам					
	С-1	С-2	С-3	С-4	С-5	С-6
Вязкость, с, по стандартному вискозиметру: η_{25}^5 , не более	20	—	—	—	—	—
η_{60}^5 , в пределах	—	5—12	12—20	20—35	35—100	100—200
Фракционный состав: выкипает при нагревании до 360°С, % к объему	10—40	10—35	5—25	2—15	0—10	0—5
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	70	70	100	100	120	120

при нагревании. Погодоустойчивость сланцевых битумов также меньше нефтяных. Область применения сланцевых битумов в основном та же, что и нефтяных битумов.

§ 81. КАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ДЕГТИ

Дегти получают в процессе пирогенетической, деструктивной (без или с ограниченным количеством воздуха) переработки каменных и бурых углей, торфа, древесины. В результате такой переработки получают ряд ценных продуктов для народного хозяйства, в том числе и смолообразные вещества — сырые дегти. В зависимости от вида перерабатываемого сырья получают каменноугольные, сланцевые, торфяные и древесные дегти. В настоящее время основная масса дегтей вырабатывается из каменных и бурых углей, сланцев, торфа и дерева.

Состав и структура каменноугольных дегтей подобна битумам, в них входят преимущественно углеводороды ароматического ряда (производные от бензола) и их соединения с кислородом, азотом, серой и другими элементами. Свойства дегтей определяются их групповым составом.

В каменноугольном дегте содержатся следующие группы веществ:

а) *твердые, углистые, неплавкие вещества* (нерастворимые в органических растворителях), которые называются *свободным* углеродом. Эти вещества состоят из сложных органических соединений с значительным содержанием углерода и большей молекулярной массой (типа битумных карбоидов). К этой группе веществ относят также частицы угля, механически занесенные в смолу при ее изготовлении;

б) *твердые неплавкие вещества*, дегтевые смолы, растворимые только в пиридине и состоящие из высокомолекулярных цикличе-

ских соединений с кислородом в ядре; твердые дегтевые смолы подобны асфальтенам, находящимся в нефтяных битумах;

в) *вязко-пластические плавкие дегтевые смолы*, растворимые в бензоле и хлороформе; они также состоят из сложных высокомолекулярных кислородных органических соединений и подобны нефтяным смолам;

г) *жидкие дегтевые масла*, представляющие собой жидкие углеводороды более простого химического строения, чем другие вещества.

Каменноугольные дегти представляют собой вещества сложной дисперсной структуры. Свободный углерод и твердые смолы, ограниченно растворимые в дегтевых маслах, являются дисперсной фазой, а масла — средой системы. Высокопластические смолы, кислые и основные вещества адсорбированы твердыми дисперсными частицами и придают устойчивость всей дисперсной системе.

Структура дегтей изменяется при значительном содержании нафталина и антрацена, при содержании их более 15% они выкристаллизовываются и создают зернистую структуру дегтя с пониженными вяжущими свойствами.

Размеры мицелл дегтя больше, и они менее однородны, чем у нефтяных битумов, что понижает устойчивость структуры и влияет на свойства дорожных дегтей.

Свойства дорожных каменноугольных дегтей

Вязкость каменноугольных дегтей зависит от структуры и количественного соотношения жидкой и твердой фаз. С повышением содержания свободного углерода и твердых смол при соответствующем уменьшении масел вязкость дегтей повышается. Вязкость каменноугольных дегтей определяется стандартным вискозиметром по времени истечения 50 мл дегтя через отверстие диаметром 5 или 10 мм при 30 и 50°С.

Пластичность дегтей низкая и обуславливается небольшим количеством в них вязко-пластичных компонентов и наличием свободного углерода.

Теплоустойчивость каменноугольных дегтей меньше, чем нефтяных битумов. Так, например, интервал превращения T_n у дегтей составляет $T_n < 40^\circ\text{С}$, а битумов $T_n > 50^\circ\text{С}$. Пониженная теплоустойчивость дегтей объясняется более грубой дисперсностью и повышенной плавкостью смол. В отличие от нефтяных битумов с уменьшением вязкости дегтей коэффициент теплоустойчивости их повышается вследствие уменьшения содержания нетеплоустойчивых плавких смол и увеличения содержания более теплоустойчивых масел. Увеличение содержания грубодисперсного свободного углерода значительно повышает теплоустойчивость.

Прилипание каменноугольных дегтей к поверхности минеральных материалов несколько лучше, чем большинства разновидностей нефтяных битумов вследствие того, что они содержат большое количество веществ с полярными группами.

Погодоустойчивость дорожных каменноугольных дегтей обусловлена характером содержащихся в них химических соединений.

В состав каменноугольных дорожных дегтей входят относительно летучие масла, которые испаряются в период эксплуатации дорожных покрытий. К летучим маслам относятся фракции, выкипающие до 300° С, содержание которых ограничивается. Ограничивается также содержание нафталина, способствующего ускорению процессов старения, и фенолов вследствие их ядовитости и вымываемости водой. Содержание свободного углерода в дорожных дегтях должно быть в оптимальных пределах (от 3 до 25%).

Большинство высокомолекулярных углеводородных веществ, которые входят в состав дегтей, имеют ненасыщенный характер. Они сравнительно легко вступают во взаимодействие с окружающей средой (кислородом воздуха), образуя более сложные химические соединения. Этот процесс ускоряется при действии высоких температур, ультрафиолетовых лучей (солнечной радиации) и других факторов.

В результате совместного протекания процессов испарения масел и химического видоизменения компонентов дегти стареют более интенсивно, чем нефтяные битумы. Скорость изменения свойств органических вяжущих материалов при старении приведена на рис. 146.

Качество дегтя в отношении старения от испарения устанавливается путем определения фракционного состава с помощью специального прибора (см. рис. 176). При перегонке дегтя отбираются фракции масел, выкипающие до 170 и 300° С. Остаток дегтя после отбора указанных фракций должен обладать оптимальной вязкостью и теплоустойчивостью, характеризуемой температурой размягчения по методу «кольцо и шар».

Некоторое повышение погодоустойчивости и теплоустойчивости дорожных дегтей достигается введением добавок дисперсных каменных материалов (молотых известняков, доломитов, шлаков и т. д.), а также каменноугольной пыли. Такие дегти называются наполненными.

Плотность каменноугольных дегтей, как правило, выше единицы. За расчетную плотность принимается $\gamma_d = 1,25$.

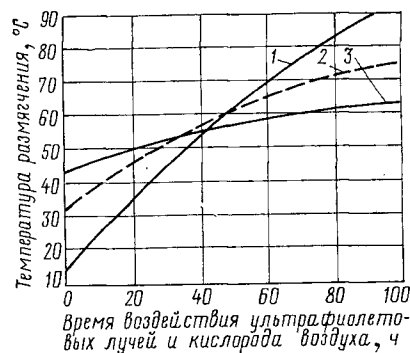


Рис. 146. Изменение свойств органических вяжущих материалов при ультрафиолетовом облучении:

1 — торфяного дегтя; 2 — каменноугольного дегтя; 3 — нефтяного битума

Свойства дегтя	Показатели свойств по маркам							
	жидких				вязких			
	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4	Д-5	Д-6	Д-7	Д-8
Вязкость по стандартному вискозиметру, с								
С ₅	5—25	25—75	—	—	—	—	—	—
С ₃₀	—	—	5—20	20—50	50—120	120—200	—	—
С ₁₀	—	—	—	—	—	—	10—75	75—200
С ₅₀	—	—	—	—	—	—	—	—
Фракционный состав, % по массе, масел отгоняется:								
до 170° С, не более	3,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
до 270° С, не более	20	20	20	15	15	15	10	10
до 300° С, не более	15—35	15—35	—	30	25	25	20	20
Температура размягчения остатка дегтя после выкипания фракций до 300° С, °С, не более	45	45	15—65	15—65	20—65	20—65	35—70	40—70
Содержание, % от массы:								
свободного углерода	2—18	2—18	3—20	3—20	5—20	5—20	6—25	6—25
фенолов, не более	5	5	5	4	4	4	3	3
нафталина, не более	7	7	6	6	5	5	4	4

В зависимости от свойств дегти разделяются на восемь марок. Технические условия на высокотемпературные каменноугольные дегти приведены в табл. 71. Первые две марки дегтей предназначены для применения в холодном виде (15—30° С), а остальные — в горячем (100—120° С).

Получение сырых каменноугольных смол и их переработка на деготь

При пирогенетической переработке каменного угля применяются два основных процесса: полужидкое коксование (швелование), протекающее при температурах 500—600° С, и коксование при 1000—1300° С.

В зависимости от этого образующиеся сырые смолы разделяются на низкотемпературные и высокотемпературные. Оба процесса связаны с тем, что угольное сырье, представляющее собой сложную систему органических веществ с бензольным ядром и боковыми углеводородными цепями, под влиянием высоких температур разлагается. При температурах до 300° С оно теряет воду и, частично разлагаясь, выделяет углеводородные газы и СО₂. В пределах 300—

600°С происходит интенсивное отщепление боковых цепей углеводородов, в результате чего образуются летучие вещества и твердый полукокс. Летучие вещества образуют *первичную (низкотемпературную) смолу*. При более высоких температурах (свыше 600°С) происходит разложение полукокса с выделением летучих веществ и образованием кокса. Эти летучие вещества вместе с парами первичной смолы в условиях высоких температур и контактнокаталитического действия раскаленных стенок печи и кокса подвергаются вторичному термическому разложению и синтезу. Образующиеся при этом более устойчивые жидкие и твердые ароматические углеводороды и их производные составляют компоненты *вторичной (высокотемпературной) смолы*.

Для изготовления дорожных дегтей используют главным образом сырые высокотемпературные смолы (коксовые и газовые). Низкотемпературные смолы изготовляют в сравнительно небольших объемах и в ряде случаев более низкого качества.

Низкотемпературные смолы по химическому составу отличаются от высокотемпературных и состоят в основном из парафинистых и нафтеновых углеводородов, фенолов. Состав низкотемпературной смолы следующий:

Вода	2—3%	В том числе:	
Легкие масла	1—7%	Свободный углерод	0—8%
Средние »	8—12%	Нафталин	0—2%
Тяжелые »	5—8%	Фенол	30%
Остаток »	55—70%	Твердый парафин	3—15%

Сырую низкотемпературную смолу подвергают фракционированию с выделением лигроиновой и керосиновой фракций, составляющих до 30%, которые используют как жидкое топливо. Получаемый остаточный низкотемпературный деготь по вязкости близок к высокотемпературному марок Д-6, Д-7 и может быть подвергнут дальнейшей фракционной разгонке с получением масел и пека или окислению продувкой воздухом до получения дегтя требуемых свойств. Для низкотемпературных дегтей имеются отдельные технические условия, разделяющие их на восемь марок, близкие к требованиям для высокотемпературных дегтей.

При более распространенной высокотемпературной диструкции углей на газовых и коксобензольных заводах получают ряд важных и ценных продуктов. Так, при переработке 1 т угля получают 700—750 кг кокса, 300—350 м³ газа, 12—15 л бензола, до 3 кг аммиака и 30—40 кг каменноугольной сырой высокотемпературной смолы. Все указанные продукты подвергают дальнейшей переработке для получения большого количества различных химических веществ. Сырые высокотемпературные смолы перерабатывают и получают жидкие фракции веществ и остаточный продукт (пек). Выход продуктов при фракционировании сырой смолы приведен в табл. 72.

Легкая фракция представляет сырой бензол, из которого затем выделяют бензол, ксилол, толуол и ряд непредельных углеводородов (кумарон, инден и др.). Фенольная фракция служит для получения фенолов и крезоло (20—40%), пиридиновых оснований (5—

Таблица 72

Фракции	Температура конденсации, °С	Содержание фракции, % по массе	Фракции	Температура конденсации, °С	Содержание фракции, % по массе
Легкая	<170	0,5—1,0	Поглотительная	230—300	7—9
Фенольная	170—210	3—4	Антраценовая	300—360	19—22
Нафталиновая	210—230	8—10	Пек	>360	55—60

6%) и нафталина (8—15%). Остающееся нейтральное легкое масло используют как растворитель и жидкое топливо.

Нафталиновая фракция перерабатывается дальше для получения нафталина (60—70%) и других веществ (фенолокрезолов — 4—8%, ксиленолов и пиридиновых оснований). Получаемое в результате извлечения указанных веществ нафталиновое масло используют как растворитель или жидкое топливо.

Поглотительная фракция после извлечения содержащихся в ней небольшого количества фенолов, нафталина и других веществ используется в виде поглотительного масла в коксобензольном производстве, а также как антисептик для древесины (креозотовое, тяжелое масло).

Антраценовую фракцию перерабатывают для изготовления сырого антрацена (кристаллическая часть фракции) и антраценового масла, которое используют как разжижитель пека для получения дорожных дегтей.

Пек является остаточным продуктом перегонки сырой смолы и представляет собой черную, хрупкую массу с характерным раковистым изломом. Кроме небольшого количества высококипящих масел, антрацена и фенантрена, пек состоит из смолистых веществ, свободного углерода и дисперсных частиц угля и кокса. Пек используется для изготовления дорожных дегтей и других технических целей. Для получения мягкого пека на ряде заводов смолу перегоняют не полностью. Этот пек затем отдельно перегоняют с выделением пекового дистиллята.

Пековый дистиллят состоит преимущественно из масел, выкипающих при температуре выше 300°С. Он имеет плотность $\gamma = 1,15 \text{ г/см}^3$ и вязкость около $C_{30}^5 = 50 \text{ с}$, а также содержит небольшой процент антрацена и следы свободного углерода.

Коксохимической промышленностью СССР выпускается также каменноугольный продукт под названием *пековая смола*, образуемая при коксовании пека до получения так называемого *коксика*.

Пековая смола представляет собой вязко-текучее вещество черного цвета с характерным запахом. По вязкости она близка к дорожному дегтю Д-7 и состоит из высококипящих масел, плавких смол и незначительного количества свободного углерода и антрацена.

По данным ленинградского филиала Союздорнии, пековая смола имеет следующие свойства и состав:

Плотность при 20°	1,18—1,22
Вязкость C_{50}^{10} , с	30—65
Фракционный состав, %, перегоняется в пределах:	
0—170° С	0
170—270° С	0—0,33
270—300° С	0—1,0
300—360° С	8,9—22,8
Температура размягчения остатка при отборе масел, °С:	
до 300° С	35—41,5
» 360° С	38,8—55,2
Содержание антрацита, %	2,28—2,78
» свободного углерода, %	1,6—3,2

Изготовление дорожных дегтей

Виды дорожных дегтей. Для дорожного строительства применяются дегти: а) *отогнанные*, которые образуются при отборе из сырой смолы летучих веществ при ее фракционной перегонке до получения вязкости, соответствующей маркам дорожного дегтя; б) *составленные*, изготавливаемые смешением горячего пека и антраценового масла или других жидких дегтевых материалов в пропорции, которая обеспечивает необходимую вязкость дорожного дегтя.

В СССР наибольшее распространение получили составленные дорожные дегти. Это объясняется несложной технологией заводской переработки сырой смолы и лучшим использованием отдельных фракций для выделения ценных веществ. Кроме того, при добавлении масел к пеку в условиях изготовления такого дегтя на строительной площадке не требуется специальных транспортных средств. Недостатком этого способа является необходимость дозирования и смешения компонентов на месте работ, в то время как составленные дегти заводского изготовления и отогнанные дегти доставляют на строительство в готовом виде.

Материалы для изготовления составленных дегтей. В качестве жидкой составляющей (разжижителя) для разжижения пека используют антраценовое масло и пековый дистиллят, а в ряде случаев — пековую и сырую смолы.

К каменноугольным маслам (как разжижителю пека) предъявляются требования, указанные в табл. 73.

При отсутствии дорожных каменноугольных масел надлежащего качества они могут быть заменены предварительно обезвоженной жидкой высокотемпературной сырой смолой.

При изготовлении дорожного дегтя, кроме марок Д-1 и Д-2, допускается также замена масел пековым дистиллятом. Дорожные дегти, изготовленные с применением пекового дистиллята, отличаются пониженной температурой размягчения остатка после отбора масел до 300° С, большой погодоустойчивостью и меньшей теплоустойчивостью, чем обычные дорожные каменноугольные дегти. Для изготовления дорожного дегтя, кроме марок Д-1, Д-2, используют пековую смолу в смеси с леком или пековым дистиллятом или же в смеси с антраценовым маслом в пропорции примерно 1 : 1.

Таблица 73

Физико-химические свойства	Показатели свойств по сортам		Физико-химические свойства	Показатели свойств по сортам	
	А	Б		А	Б
Плотность при 20° С	1,08	1,10—1,13	Фракционный состав, % по массе, отгоняется масел, не более:		
Вязкость C_{30}^3 , с	—	5—15			
Содержание веществ, нерастворимых в бензоле, %, не более	0,5	0,5		10	2,5
Содержание воды, %, не более	0,5	1,5		25	—
Содержание нафталина, %, не более	8,0	6,0		—	12,5
			при температуре до 210° С	85	75
			при температуре до 235° С		
			при температуре до 245° С		
			при температуре до 360° С		
			Содержание осадка в масле при температуре 20° С	Отсутствует	

Дорожные дегти, изготовленные с применением пековой смолы, обладают пониженной теплоустойчивостью, более высокой погодоустойчивостью и специфической структурой.

Каменноугольный пек должен отвечать следующим требованиям:

Плотность при 20° С	1,25—1,30
Температура размягчения, °С	75—85
Содержание свободного углерода, %	12—30
» воды, %	не более 1

При использовании гранулированного пека до его разогрева и смешения с разжижителем требуется предварительная сушка или выпаривание воды из него. Для изготовления дорожных дегтей допускается применение угольного пека с повышенным содержанием угольной пыли. Требования к материалам для изготовления дорожного дегтя приведены в табл. 74.

В связи с возросшим потреблением пека (для электроизоляции и др.) представляет интерес получение дорожных дегтей методом, предложенным ХАДИ, заключающимся в том, что нагретую до 300—320° С антраценовую фракцию каменноугольной смолы смешивают с измельченным порошком (до частиц не более 0,3 мм) кеннельского угля. Полученную суспензию подвергают термообработке при температуре 340—360° С. При этой температуре происходит деструкция угля и взаимодействие его с углеводородами антраценовой фракции. В результате получают деготь требуемых свойств.

Расчет состава дегтя. В зависимости от требуемой вязкости (марки) количественное содержание исходных материалов в составленном каменноугольном дорожном дегте определяют опытным подбором или расчетом. При опытном подборе составленного дегтя из-

Таблица 74

Марки дорожного дегтя	Составляющие материалы	
	Вязко-твердый	Разжижитель
Д-1, Д2	Каменноугольный пек $t_p = 75-85^\circ\text{C}$ Сырая высокотемпературная смола (без разжижителя)	Дорожное каменноугольное масло — сорт А
Д-3, Д-4, Д-5, Д-6	Каменноугольный пек $t_p = 75-85^\circ\text{C}$ Пековая смола	Дорожное каменноугольное масло — сортов А и Б Сырая смола
Д-7, Д-8	Каменноугольный пек $t_p = 75-85^\circ\text{C}$	Дорожное каменноугольное масло — сорт Б, пековый дистиллят, сырая высокотемпературная смола; пековая смола (только для дегтя марки Д-8)

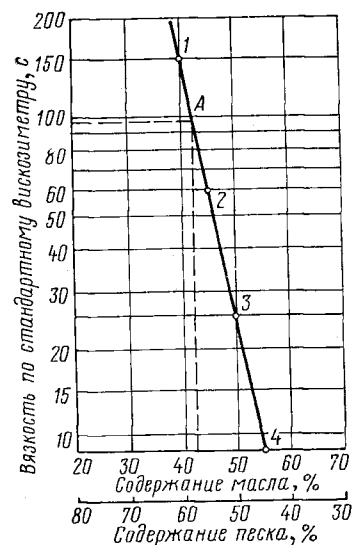


Рис. 147. График для подбора состава дорожного дегтя (по логарифмической зависимости):

1 — состав $\frac{40}{60}$;	2 — состав $\frac{45}{55}$;
3 — состав $\frac{50}{50}$;	4 — состав $\frac{55}{45}$;
A — состав $\frac{42}{58}$	соответствует заданной вязкости ($C=100$ с)

готавливают три, четыре и более смесей с различным содержанием разжижителя P . При этом каждая смесь будет иметь различную вязкость C , которая определяется вискозиметром. По результатам испытания вязкости и принятому содержанию разжижителя в материале составляют график по следующей зависимости: $\lg C = f(P)$, который затем служит для определения процента добавки разжижителя для заданной марки дегтя. График для подбора составленного дегтя приведен на рис. 147.

При применении дегтей необходимо учитывать некоторые их специфические свойства: хорошую сцепляемость с минеральными материалами, пониженную погодоустойчивость, ограниченное применение в городских условиях и т. д.

В зависимости от способа обработки дорожных покрытий применяют дегти следующих марок:

Д-1 — для обеспыливания дорог и поверхностной обработки дорожных покрытий и оснований;

Д-2, Д-3 — для обработки грунто-гравийных и щебеночных материалов при смешении на полотне дороги в холодном состоянии;

Д-3, Д-4 — для обработки грунтогравийных материалов в смесительных установках в холодном состоянии;

Д-5, Д-6 — для поверхностной обработки дорожных покрытий, изготовления холодного дегтебетона и щебеночных смесей в смесительных установках;

Д-6, Д-7 — для глубокой пропитки щебеночных дорожных покрытий;

Д-7, Д-8 — для изготовления горячего дегтебетона.

§ 82. ТОРФЯНЫЕ И ДРЕВЕСНЫЕ ДЕГТИ

Все дегти некаменноугольного происхождения рассматриваются в настоящее время как местный строительный материал, который в ряде случаев может быть рационально использован для устройства дорожных покрытий главным образом облегченного типа для обработки грунтов и как добавка к битумам.

Торфяные дегти

Сырая торфяная смола, получаемая в генераторных или коксо-сильных печах, относится к типу низкотемпературных смол. Она может иметь самые разнообразные свойства, которые зависят от свойств перегоняемого торфа, способа переработки и других причин. В большинстве случаев сырые торфяные смолы содержат большое количество фенолов (10—15%) и твердый парафин, который иногда придает им мазиобразную консистенцию (газогенераторная смола).

Торфяные смолы изготавливают в БССР, на Урале и в Московской обл.

Переработка сырой торфяной смолы заключается в фракционировании ее с выделением масел, выкипающих до $300-350^\circ\text{C}$, и получения средних и мягких пеков. Для повышения качества мягкого пека его продувают воздухом.

Торфяной дорожный деготь может быть получен в виде отогнанного или же в виде составленного из торфяного пека, разжиженного тяжелым торфяным или каменноугольным маслом, сырой каменноугольной смолой, крекингостатками и пр. Для обработки грунтов торфяной деготь должен удовлетворять требованиям, указанным в табл. 75.

Таблица 75

Состав и физические свойства торфяного дегтя	Показатели
Плотность при 20°C	1,03—1,05
Вязкость по стандартному вискозиметру, C^s , с	< 15
Фракционный состав, % по массе, перегоняется:	
до 170°C не более	3
» 270°C »	35
» 300°C »	40
Содержание фенолов по объему, %	20
» парафина по массе, %	10
» воды, %	10—15

Торфяные дорожные дегти обладают меньшей теплоустойчивостью и погодоустойчивостью, чем каменноугольные, но они более полярны и лучше прилипают к каменным материалам. Торфяные дегти применяют в качестве поверхностно-активной добавки для нефтяных битумов.

Древесные дегти

Древесные дегти изготовляют из древесных низкотемпературных сырых смол, получаемых из хвойных и лиственных пород при углежжении, в спиртопорошковом производстве и в газогенераторных установках. В СССР эти виды производства распространены в северо-восточной части. Наибольшее количество дегтей получается при газификации древесины. По внешнему виду сырые древесные газогенераторные смолы представляют собой густую жидкость темно-коричневого цвета с большим содержанием воды, уксусной кислоты и фенолов. Содержание этих веществ, обладающих значительной растворимостью в воде, отрицательно влияет на качество дорожного дегтя. Фракционный состав древесных смол характеризуется следующими данными (смола Ижевского завода):

Вода	100—170° С	8—10%
Фракций, отгоняемых при:	170—270° С	2—5%
	270—300° С	14—30%
		4—12%
Пек		53%

Сырые древесные смолы с целью их использования в дорожном строительстве должны быть улучшены путем отгонки воды и части масел (до 300° С), содержащих уксусную кислоту и фенолы. Отгонянные древесные вязкие дегти или пеки при добавлении разжижителя могут применяться для строительства дорог в опытном порядке. Качество дегтей улучшается при небольшой добавке вязких битумов. Древесные дегти применяют как поверхностно-активные добавки.

§ 83. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ЭМУЛЬСИИ И ПАСТЫ

Эмульсиями называют дисперсные системы, в которых одна жидкость (фаза) в виде мельчайших капель размером 0,1 мкм диспергирована (раздроблена) в другой жидкости (среда), не смешивающейся с ней. Битумные и дегтевые эмульсии — это дисперсные системы, где вода является средой, а диспергированный битум или деготь — фазой. В дорожных эмульсиях битум и деготь диспергированы до частиц размером примерно 1 мкм и содержатся в количестве 50—60%; эмульсии, содержащие битума или дегтя более 60—70%, называются *высококонцентрированными*.

Пастами называют вязкие высококонцентрированные эмульсии и эмульсии с применением твердых эмульгаторов. Пасты перед применением обычно разводят водой до получения требуемой вязкости.

Битумы и дегти, являющиеся неполярными веществами, не растворяются в полярной жидкости (воде), поэтому они могут смешиваться

с водой только с образованием коллоидной дисперсной системы — эмульсии. Образование и устойчивость эмульсии достигается путем введения в нее специальных эмульгаторов — поверхностно-активных веществ и тонкодисперсных твердых порошков.

Поверхностно-активные вещества, молекулы которых состоят из полярной и неполярной частей, ориентируются на границе раздела битум или деготь — вода таким образом, что неполярной частью они обращены к битуму, а полярной — к воде. Вследствие такой ориентации поверхностно-активных веществ создается слой, который уравнивает разность полярностей битума (фазы) и воды (среды), снижает поверхностное натяжение на границе их раздела.

Вследствие диссоциации полярной группы поверхностно-активного вещества частица фазы приобретает электрический заряд (при анионоактивном эмульгаторе — отрицательный и катионоактивном — положительный). Одноименно заряженные частицы фазы отталкиваются, что препятствует их слипанию и обуславливает большую устойчивость эмульсии.

Твердые минеральные эмульгаторы выполняют ту же роль, что и органические, они прилипают к поверхности диспергированных частиц битума или дегтя и образуют на границе раздела с водой защитные оболочки, препятствующие их соединению (рис. 148).

Для изготовления дорожных эмульсий применяют главным образом водорастворимые органические эмульгаторы или твердые минеральные порошкообразные вещества. К числу водорастворимых эмульгаторов относятся поверхностно-активные анионоактивные и катионоактивные вещества. Эмульсии с анионоактивными эмульгаторами называют щелочными, с катионоактивными — кислыми. Содержание водорастворимых эмульгаторов в эмульсии обычно не превышает 3%, твердых эмульгаторов — 15—5% и зависит от дисперсности эмульсии.

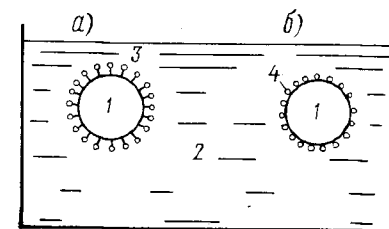
В качестве анионоактивных эмульгаторов применяются мыла: щелочные соли нафтенных, сульфонафтенных, смоляных органических кислот, сульфитно-спиртовая бражка и др. Эти соединения содержатся в некоторых отходах лесохимической и топливной промышленности.

К катионоактивным эмульгаторам относятся катионовые мыла, являющиеся производными четверично замещенного аммония и солями аминов (выравниватели А-9, А-20, катапин А и др.).

К твердым эмульгаторам относятся тонкоизмельченные порошки глин, извести, цемента, сажи, угля и т. д.

Рис. 148. Структура битумной эмульсии:

а — на органическом эмульгаторе; б — на порошкообразном твердом эмульгаторе; 1 — битумная частица (фаза); 2 — вода (среда); 3 — органический эмульгатор; 4 — порошкообразный эмульгатор



Последнее время находят применение новые экономичные эмульгаторы: талловое масло, жировой гудрон, полимеры канифольно-экстракционного производства, стеарин и катионоактивные препараты ХД-180, ХД-34 (хлориддиметилалкил аммониевоуксусной кислоты) $[(CH_3)_2NRCH_2COOH]Cl$ (где $R=C_{12}-C_{14}$, содержание хлора 7%), хлоридтриметилалкил аммония $[(CH_3)_3NR]Cl$ (где $R=C_{15}H_{32}$, содержание хлора 10,4%), а также карбоксиламин.

При диссоциации этих веществ поверхностно-активным является катион, который понижает поверхностное натяжение воды, растекается по битуму и способствует его диспергированию при перемешивании.

В зависимости от свойств и содержания эмульгатора и количества битума или дегтя можно получать эмульсии двух типов: а) эмульсии масла в воде (м/в) или так называемые *прямого типа эмульсии*, когда капли битума диспергированы в воде, б) эмульсии воды в масле (в/м) — *обратного типа эмульсии*, когда вода диспергирована в битуме. В дорожном строительстве применяются главным образом прямые эмульсии. Примерные составы эмульсий приведены в табл. 76.

Состав эмульсии на твердых эмульгаторах приведен в табл. 77.

К твердым эмульгаторам для повышения устойчивости, как правило, добавляют органические эмульгаторы (мыла, сульфитно-спиртовую бражку в количестве 1—7%).

Таблица 76

Условное обозначение	Тип эмульсии	Скорость распада	Состав эмульсии, %				
			Битумы БНД-130/200, БНД-90/130	Эмульгатор			Вода
				Органическое вещество	Щелочь		
			Едкий натр		Жидкое стекло		
Анионоактивные							
Д	Прямая	Быстро	50—60	Асидол или асидол-мылонафт 0,1	0,16	0,20	45—50
А	»	»	50—60	Контакт Петрова 0,35	0,06	0,22	45—50
ССБ	»	Средне	50—60	То же, 0,65	0,19	0,22	45—50
	»	Медленно	50—60	Сульфито-спиртовая бражка 3,5	—	—	45—50
ВА	»	Медленно	50—60	Катионоактивные Выравниатель А-9 или А-20 2,0	—	—	—
	Обратная		Деготь 73; 5—80	Контакт Петрова 0—6,5	0,8	Хлористый натр 3,2	16

Примечания 1. Контакт Петрова — смесь сульфокислот, получаемая при очистке керосина серным ангидридом. 2. Асидол — смесь нафтенных кислот, получаемых при производстве бензина, керосина.

Производство дорожных эмульсий состоит в измельчении (диспергировании) битума или дегтя в воде с эмульгатором. Для приготовления эмульсий в настоящее время предложено большое число различных диспергаторов в виде гомогенизаторов, коллоидных мельниц, мешалок, а также установок с использованием ультразвуковых колебаний.

Наиболее широко применяется диспергатор ЭУ-307 производительностью 1 т/ч и более экономичный трехступенчатый диспергатор Р4-57-295 системы Л. Л. Хотунцева и В. С. Пушкина производительностью 2—2,5 т/ч.

Технологический процесс изготовления эмульсий состоит из следующих операций: 1) разогрева вяжущего материала; 2) приготовления эмульгаторов; 3) диспергирования вяжущего и смешения его с водным раствором эмульгатора. Битум или деготь в зависимости от вязкости подогревают до температуры 50—120°С.

Органические водорастворимые эмульгаторы приготавливаются следующими способами:

1. Эмульгатор предварительно смешивается с нагретым битумом или дегтем и отдельно готовится водный раствор щелочи.

2. Эмульгатор (кислоты или продукты, их содержащие) омыляется в водной среде щелочью.

Приготовленные компоненты эмульсии (эмульгатор или водный раствор щелочи, вяжущий материал) содержатся в специальных резервуарах, из которых и подаются в эмульсионную установку. В установке при помощи вращающихся дисков (лопастей) происходит диспергирование (раздробление) битума или дегтя в водной среде. Эмульгатор адсорбируется на поверхности частиц вяжущего материала и придает устойчивость получаемой эмульсии.

Качество эмульсии и механическая энергия, затрачиваемая на ее производство, зависят от того, насколько полно будет использована энергия химического и физико-химического взаимодействия компонентов эмульсии: эмульгатора, битума или дегтя и воды.

Таковыми условиями приготовления эмульсии является предварительное смешивание битума или дегтя с эмульгатором (кислотосодержащими продуктами) и постепенная подача его в водный раствор щелочи или постепенная подача нагретого битума в водный раствор эмульгатора. Эти условия за счет физико-химического взаимодействия компонентов эмульсии способствуют самопроизвольному диспергированию битума или дегтя при меньшей затрате механической энергии. Все это необходимо учитывать при выборе технологии и оборудования для приготовления эмульсий.

При изготовлении суспензий на твердых эмульгаторах применяют лопастные мешалки. Сначала в мешалку вводят воду при температуре около 90°С, затем добавляют необходимое количество

Таблица 77

Битум или деготь, %	Эмульгатор, %	Вода, %
50—60	Глина высокопластичная 7—10	30—43
50—55	Известь 6—9	36—44
50—60	Цемент 8—12	28—42

тонкоизмельченного эмульгатора. Эти материалы тщательно перемешивают до получения однородного сметанообразного раствора с температурой около 60—70°С. После этого в раствор постепенно вводят горячий вяжущий материал. Вся смесь хорошо перемешивается в мешалке до получения однородной массы, легко разбавляемой водой.

Распад эмульсии и ее взаимодействие с минеральными материалами. При взаимодействии эмульсии с каменным материалом за счет адсорбции эмульгатора, испарения и поглощения воды нарушается равновесие дисперсной системы и происходит распад эмульсии. Подавляющее большинство эмульгаторов являются поверхностно-активными веществами, при этом анионоактивные эмульгаторы хорошо взаимодействуют с основными горными породами и катионоактивные — соответственно с кислыми породами. Вследствие адсорбции эмульгатора поверхностью каменных материалов концентрация его на защитных оболочках частиц битума уменьшается, при перемешивании они разрываются и происходит слияние и объединение битума с каменными материалами.

В зависимости от эмульгатора, свойств обрабатываемых каменных материалов, температуры воздуха эмульсии распадаются с различной скоростью. По скорости распада они делятся на быстро-, средне- и медленнораспадающиеся эмульсии. Скорость распада эмульсий можно регулировать путем введения соответствующих добавок. Устойчивые эмульсии с анионоактивными эмульгаторами имеют рН=7—11, катионоактивные — 3—6. С увеличением рН устойчивость анионоактивных эмульсий увеличивается, а катионоактивных — уменьшается. Изменение рН достигается путем введения в эмульсию продуктов, содержащих щелочи, соли или кислоты.

В качестве добавок, ускоряющих распад эмульсии, применяют сульфатный щелок, соли кальция, магния, сернокислого и хлорного железа, калиево-алюминевые квасцы и др. Количество добавки обычно не превышает 0,5—1,0%. Предварительная обработка минеральных материалов известью, цементом, а также солями двух- и трехвалентных металлов, помимо ускорения распада эмульсии, улучшает прилипание вяжущего к каменным материалам.

Качество эмульсий и суспензий определяется следующими показателями:

- 1) *стойкостью при хранении и транспортировании*, что достигается однородностью структуры и надлежащим выбором ее состава;
- 2) *вязкостью*, которая в зависимости от способа обработки минеральных смесей должна быть $C_{20}^3 = 5—50$ с;
- 3) *скоростью распада* при розливе или смешении с каменными материалами и прочностью сцепления битума или дегтя с каменными материалами после отделения воды. Скорость распада эмульсии зависит главным образом от качества эмульгатора. Суспензии на твердых эмульгаторах распадаются медленнее, чем эмульсии;
- 4) *склонностью к реэмульгированию* выделившегося битума при попадании воды (т. е. повторного образования эмульсии или суспензии). Реэмульгирование зависит от качества и количества эмульга-

Таблица 78

Способ обработки дорожных покрытий	Свойства эмульсии		
	Вязкость по стандартному вискозиметру C_{20}^3 , с	Скорость распада, %	Содержание вяжущего материала, % по массе
Поверхностная обработка	5—20	100—50	50—60
Пропитка	5—30	60—50	50—60
Смещение:			
в установках	30—60	50—10	55—65
на дороге	5—20	30—2	50—60

тора в материале. Наиболее склонны к реэмульгированию вяжущие, выделившиеся из распавшихся суспензий или из эмульсий с избытком эмульгатора. Устойчивость эмульсий испытывают семидневным хранением эмульсии при 18—20°С в цилиндре и определением количества отделившегося вяжущего.

Скорость распада эмульсии определяют погружением на 2 мин в эмульсию проб (по 1 кг) чистого сухого гравия размером 6—12 мм, помещенных в корзину. Затем пробы в корзине подвешивают на 30 мин, чтобы стек избыток битума и одну из них промывают в течение 15 мин проточной водой. Затем обе пробы сушат при 50°С до постоянной массы и взвешивают.

Показатель скорости распада эмульсий определяют по формуле

$$\Pi = \frac{P_{\text{пр}}}{P} 100,$$

где $P_{\text{пр}}$ — количество вяжущего материала, прилипшего к поверхности зерен гравия, в промытой водой пробе; P — то же, в непромытой водой пробе гравия.

У быстрораспадающихся эмульсий показатель распада 100—50%, у средне-распадающихся — 50—10% и медленнораспадающихся — не менее 10%.

Технические требования, предъявляемые к дорожным эмульсиям, приведены в табл. 78.

§ 84. СТАРЕНИЕ БИТУМОВ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

Битумы, как и большинство полимерных смол, с течением времени изменяют свои свойства. Способность битума сохранять свои свойства под воздействием атмосферных факторов принято называть погодостойкостью. Битумы относятся к относительно погодостойчивым материалам, тем не менее недостаточная его стабильность нередко является одной из главных причин преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий. По условиям механического износа асфальтобетонные покрытия (толщиной 4 см) должны служить 30—40 лет, но часто их разрушение происходит раньше (через 10—20 лет) за счет преждевременного старения битума и потери им вязко-пластичных свойств (табл. 79).

Таблица 79

Битум	Срок работы в покрытии, лет	Глубина проникания при 25° С		Растяжимость при 25° С		Температура размягчения		Индекс пенетрации
		10 ⁻¹ , мм	%	см	%	°С	%	
Бинагадинский	0	53	100	42	100	56	100	+0,2
	17	39	73	5	12	73	130	+2,8
Калужский	0	63	100	100	100	52	100	-0,1
	17	35	55	3	3	73	140	+2,5
Шугуровский	0	68	100	100	100	42	100	-1,9
	17	33	48	5	5	70	165	+1,9

Процесс старения органических вяжущих прежде всего обуславливается испарением масел, которое зависит от температуры их кипения, величины поверхности испарения и упругости паров, насыщающих пространство. Считается, что испаряются вещества с молекулярной массой ниже 400.

Вторым важным фактором старения битумов является химическое изменение его компонентов и образование новых веществ. Эти изменения в основном связаны с процессом окисления.

Окисление высокомолекулярных углеводородов в настоящее время объясняется теорией разветвляющихся цепных реакций, развитой акад. Н. Н. Семеновым. Согласно этой теории, в окисляющемся веществе при взаимодействии с кислородом образуются активные радикалы, являющиеся новыми центрами дальнейшего развития реакции.

Все изменения, происходящие в высокомолекулярных соединениях при окислении, можно разделить на две группы: изменения, сопровождающиеся разрывом цепей, и изменения, связанные с разветвлением, сшиванием цепей и образованием циклов. Первичным процессом при окислении является образование свободного углеводородного радикала. При этом, если в соединении имеется боковая метильная группа, то это способствует разрыву цепи, если же соединение легко образует двухвалентный радикал за счет раскрытия двойной связи, то происходит агрегация молекул, т. е. сшивание или разветвление.

Схемы сшивания

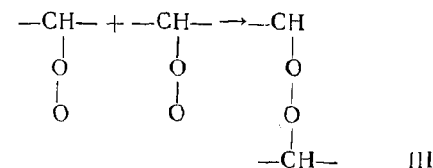
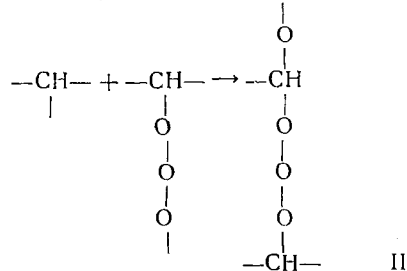
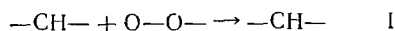
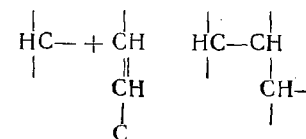


Схема разветвления



Таким образом, процессы старения органических высокомолекулярных соединений протекают по типу цепных реакций.

Опыты, проведенные по изучению скорости поглощения кислорода различными высокомолекулярными смолами, показали следующее:

наибольшее количество кислорода поглощается соединениями, имеющими в цепях главных валентностей двойные углерод — углеродные связи;

присутствие метильного радикала у атома углерода, сопряженного с двойной связью, повышает количество поглощенного кислорода;

отрицательные заместители (CN, C₆H₅, COOH), находящиеся у атома углерода, сопряженного с двойной связью, замедляют поглощение;

свет с длиной волны 2800 Å — 3000 Å и повышение температуры ускоряет поглощение кислорода.

При поглощении кислорода происходит деструкция высокомолекулярных веществ с выделением газообразных и жидких веществ (CO, CO₂, H₂O, CH₂O, CH₃CHO, R — COOH).

Ненасыщенные группы углеводородов, содержащиеся в битуме, сравнительно легко отдают водород, соединяющийся с кислородом воздуха, и переходят в разряд еще более ненасыщенных соединений, которые затем уплотняются (полимеризуются) и образуют сложные высокоуглеродистые соединения.

Этот процесс протекает по следующей схеме: C_xH_y + O = C_xH_{y-2} + H₂O и далее C_xH_{y-2} + C_xH_{y-2} = C_xH_{y-2} — C_xH_{y-2} и т. д.

В процессе старения битума происходит изменение группового состава сначала в результате испарения масел, затем накопления смол и асфальтенов и, наконец, превращения смол в асфальтены (табл. 80). Неразрывно с изменением группового состава битумов происходит изменение их структуры, повышается вязкость, теплостойкость, упругость, понижается пластичность и, наконец, битумы становятся хрупкими.

Минеральные порошки из талька, сланца, доломита, слюды, диабазы, известняков адсорбируют на своей поверхности соединения битума с активными функциональными группами, пони-

Таблица 80

Битум	Время наблюдения	Групповой состав битума, %		
		Масла	Смолы	Асфальтены
Вязкий крекинг-битум	При введении битума в смесь	66,2	19,0	14,8
	После трехлетней эксплуатации дорожного покрытия	65,1	16,5	18,4
Вязкий окисленный битум из бинагадинской нефти	При введении битума в смесь	55,3	34,6	9,1
	После двухлетней эксплуатации дорожного покрытия	50,0	30,0	16,0

жают запас их химической энергии, а следовательно, снижают их склонность к старению. Некоторые порошки, содержащие полуторные окислы Fe_2O_3 , Al_2O_3 , оказывают катализирующее воздействие и способствуют старению.

Замедляющее действие на старение оказывают соли олеиновой, нафтеновой, стеариновой и других жирных кислот в количестве 0,05—0,5%. Имеются указания на положительное влияние применения антиокислителей фентиазина, дифениламина, гидрохинона. Содержание серы 0,07% и танина 0,2, нафтола 0,1, сульфанил-амида 0,01, сульфациридина 0,05, пирокатехина 0,05, ализарина 0,1, полиэфирной ненасыщенной смолы 3—5,5%, винилпиридина до 1,5%, кумароновой смолы до 10% оказывает замедляющее действие на старение битума. Для повышения структурной стабильности битума в особенности в химически активных средах¹ (кислые и щелочные) рекомендуется применять регенераты бутилкаучуковых отходов шинной промышленности в количестве 6—10%. Эта добавка является комплексной, так как, помимо замедления старения, она оказывает пластифицирующее воздействие: расширяет интервал пластичности в области положительных и отрицательных температур. Ввиду непостоянства состава и свойств битумов (содержание реакционно-активных соединений) в настоящее время нет общепринятых методов повышения их стабильности и для отдельных видов битумов надо выбирать соответствующие методы их стабилизации. Можно считать установленным, что погодоустойчивость зависит от происхождения и состава нефти, а также технологии ее переработки и получения битума. Остаточные битумы более устойчивы, чем окисленные, а битумы, полученные с добавлением крекинг-остатков, отличаются пониженной устойчивостью к старению. Битумы из крекинг-остатков, как правило, имеют больше ненасыщенных связей по сравнению с другими битумами. Надо полагать,

что интенсивное термическое воздействие на битум в процессе его получения способствует образованию менее устойчивых соединений.

Погодоустойчивость определяется путем длительной экспозиции битума под воздействием атмосферных факторов. Для ускоренного определения погодоустойчивости битумов применяется специальная установка, воспроизводящая естественные условия работы битума в конструкциях (воздействие температуры, ультрафиолетовых лучей, кислорода и влаги).

§ 85. ДОБАВКИ, ВВОДИМЫЕ В ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для улучшения свойств органических вяжущих материалов (битумов и дегтя), повышения их прилипания к каменным породам, изменения цвета, а также повышения пластичности, теплоустойчивости, погодоустойчивости в битумы и дегти вводят соответствующие добавки. В настоящее время предложено большое количество различных добавок, в том числе и комбинированных, улучшающих целый комплекс свойств вяжущих.

Метод повышения качества материалов путем введения в него соответствующих добавок в последнее время получил широкое распространение во всех отраслях материаловедения и является очень перспективным. Добавки классифицируют по различным признакам (растворимости, способу введения и т. д.).

Разжижающие добавки. Для понижения вязкости органических вяжущих (жидкие битумы, составленные дегти) в них вводят разжижители. В составе битума могут содержаться углеводороды и их производные различных химических классов, поэтому чем ближе состав разжижителя будет подходить к составу битума, тем такой разжижитель дает более гомогенные и стабильные растворы. Поскольку в подавляющем большинстве отечественных битумов преобладают циклические ароматические комплексы¹, то и разжижитель ароматического ряда будет при прочих равных условиях давать более стабильные растворы.

Второй особенностью растворителей является их испаряемость, которая характеризуется температурой испарения (кипения) и обуславливает скорость загустевания вяжущего. Для приготовления жидких среднегустеющих битумов применяют лигроин, керосин, для медленногустеющих — нефть, мазут, жидкие крекинг-остатки, антраценовое масло. Оптимальное содержание разжижителя определяют в лаборатории в зависимости от требуемой вязкости. Содержание разжижителя может колебаться от 2 до 50%. Изменение вязкости зависит от состава вяжущего и разжижителя и его содержания (рис. 119). В зависимости от содержания разжижителя наблюдаются следующие структурно-реологические модификации. При относительно малом содержании разжижителя вязкость битума изменяется незначительно, что связано с сохранением исходной

¹ Степень ароматизации может определяться по соотношению С:Н и чем оно больше, тем выше степень ароматизации.

¹ По исследованиям В. М. Покровского.

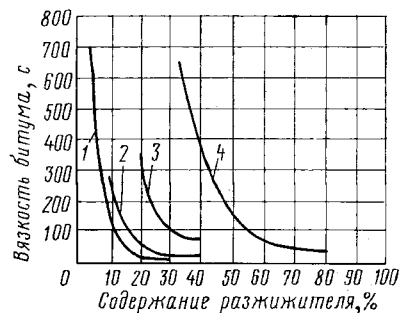


Рис. 149. Изменение вязкости битумов в зависимости от вида и концентрации разжижителя:

1 — керосин; 2 — дизельное топливо; 3 — нефть; 4 — мазут

структуры битума. При дальнейшем увеличении содержания разжижителя происходит относительно резкое падение вязкости, что связано с нарушением структурных связей, и битум приобретает свойства ньютоновской жидкости. Применение разжижителей, содержащих ароматические углеводороды, приводит к пластификации битума.

Пластифицирующие добавки. Для уменьшения хрупкости, снижения температуры стеклования и придания большей пластичности в синтетические смолы и органические вяжущие вводят пластифицирующие добавки.

При использовании высоковязких продуктов нефтехимических производств, продуктов деасфальтизации, кумароновых смол возникает необходимость понизить их хрупкость, что может быть достигнуто введением пластифицирующих добавок. Основные положения по пластификации смол разработаны акад. В. А. Каргиным, чл.-корр. АН СССР А. Н. Коршаком, проф. Г. А. Слонинским, А. А. Тагером и др. Важнейшим требованием, предъявляемым к пластификатору, является его растворимость и совместимость к пластифицируемым веществам. Таким образом, пластификация является частным случаем растворения, сопровождающаяся набуханием и разрыхлением макромолекул, связанным с прониканием в них пластификатора.

Малые молекулы пластификатора, располагаясь между большими молекулами полимера, приводят к изменению геометрического характера расположения молекул в системе полимер-пластификатор. Введение пластификатора не изменяет существенно внутреннюю энергию вещества, а действует как смазка, облегчая движение макромолекул и ее звеньев. Физико-химический механизм пластификации сложен и зависит от состава и структуры пластифицируемой смолы: степени гибкости или жесткости ее молекул, содержания функциональных групп и характера их взаимодействия с пластификатором.

Для смол с гибкими молекулами введение пластификатора приводит к снижению температур стеклования T_g и текучести T_f и возможному их сближению, т. е. уменьшению интервала эластичности (или пластичности). Для смол с жесткими молекулами, в которых интервал пластичности мал, введение пластификатора переводит его из твердого стеклообразного состояния в текучее (рис. 150). Этот переход при сильном взаимодействии пластификатора с некоторыми группами атомов в смолах будет повышать гибкость цепных молекул, произойдет резкое

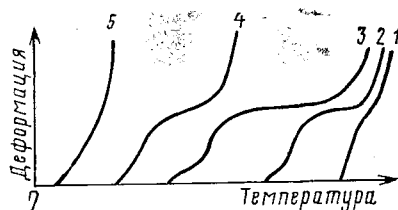


Рис. 150. Схематическое изображение влияния пластификатора на интервал пластичности ($T_p - T_{xp}$):

1 — чистый полимер с жесткими молекулами; 2, 3, 4 — полимер с пластификатором (содержание соответственно увеличивается); 5 — раствор полимера в пластификаторе

понижение температуры стеклования, так как уменьшится размер подвижной части цепной молекулы. Понижение температуры текучести останется обычным для пластифицирующего действия. Поэтому произойдет образование или расширение температурной зоны высокоэластичного состояния. При дальнейшем увеличении пластификатора (см. рис. 150, кривую 4), когда гибкость молекул уже не увеличивается, область высокоэластичного состояния уменьшается и в конце приводит к образованию раствора смолы в пластификаторе (см. рис. 150, кривую 5). Такое условие применения пластификации органических вяжущих для дорожного строительства наиболее эффективно.

Применительно к органическим вяжущим (битумам), являющимися сложной системой, в которых мальтеновая часть (смолы и масла) уже являются, в известной мере, пластификаторами, характер изменения T_g и интервала пластичности будет зависеть от структуры группового состава битума, а также свойств вводимого пластификатора. Поскольку высокомолекулярная часть вяжущих состоит из ароматических углеводородов, то и пластификаторы должны содержать соединения этого класса. При определении его содержания необходимо руководствоваться изложенными выше соображениями. Необходимо иметь в виду, что введение пластификатора может повлиять на другие свойства битумов и, в частности, на его химическую стойкость, погодоустойчивость; надо стремиться, чтобы упругость пластификатора была настолько низка, чтобы не было заметных его потерь при хранении и работе в покрытии. В качестве пластификаторов в настоящее время применяются: зеленое масло, мазут, гудрон, антраценовое масло (или деготь). Указанные пластификаторы являются также растворителями (разжижителями) и содержание их колеблется в широких пределах от 2 до 40 %.

Другие модифицирующие добавки. К модифицирующим добавкам относят вещества, которые будучи введены в смолу изменяют ее физико-химическую структуру или действуют как простое добавление компонентов, но как в одном, так и в другом случае приводящие к изменению ее свойств в нужном направлении. Таким образом, растворение и пластификация являются частным случаем модификации. В СССР и за рубежом применяются добавки синтетических полимерных смол: поливинилацетат, полистирол, эпоксидные смолы, а также синтетические латексы и каучук. Синтетический (хлоропреновый бутадиенстирольный) и натуральный каучук в количестве 1—6% (от битума) для лучшего распределения его вводят в горячий битум в виде порошка, осажденного на адсорбирующий порошок из диатомита, талька.

Натуральные и синтетические каучуки в виде порошка, раствора или латекса¹ применяют для всех видов вяжущих: вязких и жидких битумов, дегтей. При их применении температура размягчения и растяжимость повышается, вязкость понижается, улучшается адгезия. Из синтетических смол для дегтей применяют поливинилаце-

¹ Латексы состоят из каучука, эмульгатора, электролитов, противостарителей и др. Их получают полимеризацией мономеров в водных эмульсиях. В зависимости от природы мономеров, систем эмульсий, режимов полимеризации и природы эмульгаторов они бывают разного качества. Синтетические латексы вырабатывают с содержанием сухого остатка 20—50 %.

Таблица 81

Материалы	Глубина проникания (100 г 5 с)		Растяжимость, см, при		Температура, °С		Когезия при 20° С, кгс/см ²
	25° С	0° С	25° С	0° С	размягчения по «К и Ш»	хрупкости по Фраасу	
Ухтинский битум из ягерской нефти без латекса	113	3	97	7	48	—15	0,3
То же, +1% латекса	94	7,7	>100	10	51	—19	0,26
То же, +2% латекса	89	9	>100	17	52	—21	0,56
То же, +3% латекса	80	9,5	>100	18	55	—21	0,79
То же, +4% латекса	75	10	>100	21	56,5	—21,5	0,79
То же, +5% латекса	70	10	>100	25	62	—	0,77
Ухтинский битум из гебугской нефти без латекса	60	4,5	45	0,4	52	—16	0,2
То же, +2% латекса	50	5,0	54	2	55	—12	0,27
То же, +4% латекса	47	6,9	67	3	57	—15	0,35

тат, полистирол и как пластификаторы применяют дибутилфталат, тикрезолфосфат и другие сложные эфиры.

Наиболее обширные исследования модифицирующих добавок были проведены в Ленфилиале Союздорнии. Установлено, что силоксановый каучук и дивинилстирольный латекс в количестве 1—5% не изменяют свойства битумов, дивинилнитрильный латекс СКП-40-1'-ГП, среда которого кислая, ухудшает свойства битумов. В то же время применение карбоксильного латекса СКД-1 с щелочностью (рН=9,0—9,5) значительно улучшает свойства битумов (табл. 81).

Битумы становятся более теплостойкими, резко увеличивается растяжимость при 0°С, когезия увеличивается 1,5—2 раза. Положительные результаты получены при модификации битумов поливинилхлоридом в количестве 1,5—2,5%, эпоксидными и кумароновыми смолами¹.

В СССР и за рубежом широко применяют регенерированную резину², резиновую крошку, получаемую при вторичной переработке старых автомобильных покрышек. Измельченная резина в порошкообразном (диспергированном) состоянии вводится в битум в количестве 3—5% при температуре 150—180°С и тщательно перемешивается. При этом происходит набухание резиновых частиц и

образуется битуморезиновая дисперсия, которая отличается высокой растяжимостью при 0°С и, будучи использованная для приготовления асфальтобетона, придает ему большую упругость, уменьшает трещинообразование, скользкость, старение.

Добавки для придания цвета (пигменты). Вопрос об изготовлении цветных битумных систем исследован мало. В настоящее время применяются следующие битумные системы: а) битумные краски; б) битумные растворы, битумные эмульсии. Получение цветных битумных систем основано на следующем:

масла и смолы битумов и вводимый растворитель являются пленкообразующими веществами и выполняют роль олифы. Смолы обладают высокой красящей способностью и затрудняют получение других нетемных цветов;

при введении пигмента в битум в нем протекают сложные поверхностные реакции взаимной адсорбции пигментами битумных компонентов, что приводит к образованию темной окраски введенного пигмента. Тонкость измельчения пигмента и содержание смолистых компонентов оказывают большое влияние на интенсивность окраски и свойства пленки.

Для получения цветных битумных красок наиболее часто применяют битум марки БНД-40/60, в качестве растворителя — уайт-спирит и сольвент-нафту и следующие пигменты: сурик, охра, хромовую зелень, цинковую желтую, кадмиевую желтую, ультрамарин и металлические порошки. Для улучшения свойств цветных битумных систем добавляют кумароновые и глифталевые смолы, канифоль, олифу и др.

В качестве вяжущего за рубежом применяют светлые синтетические битумы (лобитос), которые получают из перуанской нефти. Можно применять светлые кумароновые смолы (составы КАДИ, ХАДИ, НИИМосстроя), а также глифталевую, древесную смолы и некоторые полимерные смолы: полистирол, полиэтилен, полиизобутилен, перхлорвинил и др. В литературе имеются различные составы цветных битуминозных систем, составленных с применением вышеуказанных добавок.

Добавки, улучшающие прилипание (адгезию). Вопрос о физико-химической природе адгезии изучен недостаточно и связан с сорбционными процессами, протекающими на границе раздела фаз, рассмотренных ниже. Вследствие того, что природа сил, обуславливающих сорбционные процессы, носит электрический характер, чл.-корр. АН СССР Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова объясняют взаимодействие соприкасающихся поверхностей возникновением двойного электрического слоя на поверхности раздела фаз. Большинство каменных материалов, применяемых в дорожном строительстве, имеют кристаллическое строение с ионной решеткой. При измельчении на их поверхности образуется сложное электрическое поле, знак и величина потенциала которого определяется свойствами ионов и характером их расположения на поверхности. Большинство основных карбонатных пород (известняки, доломиты) имеют положительный заряд, кислые (гранит, кварц) — отрицательный. Как установлено,

¹ Исследования канд. техн. наук Н. С. Дараган.

² Исследования проф. Г. К. Сюньи.

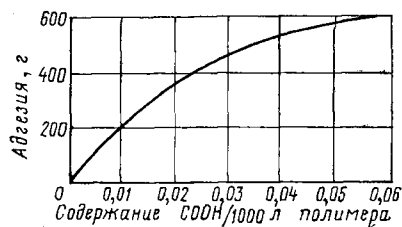


Рис. 151. Зависимость изменения адгезии смолы от содержания полярной группы COOH

в сложном составе битума преобладают анионактивные вещества. С точки зрения электростатической теории адгезии, хорошее сцепление битума с известняками объясняется разноименными зарядами поверхности каменного материала и компонентов битума и плохое — одноименное с кислыми (гранит, кварц).

Однако изложенные представления не могут объяснить

целого ряда положений, связанных с взаимодействием битума с каменными материалами. Исследования с применением хроматографического анализа и инфракрасной спектроскопии¹ показали, что наряду с физической адсорбцией имеется хемосорбция активных функциональных групп с карбонатами кальция, магния, полуторных окислов в виде свободных гидратов с образованием поверхностных соединений типа кальциевых мыл. Таким образом, физико-химические свойства органических вяжущих в значительной мере обуславливают их прилипание (адгезию) к каменным материалам.

Адгезия смол определяется двумя факторами: степенью гибкости звеньев макромолекул и полярностью групп, входящих в структуру макромолекулы. Ориентированная структура, наличие поперечных мостиков между цепями макромолекулы снижают адгезию. Высокая разветвленность макромолекул с полярными группами повышает адгезию. Все факторы, способствующие большей подвижности звеньев макромолекул, и содержание полярных групп повышают адгезию. Таким образом, введение в битум добавок, содержащих полярные группы и увеличивающие подвижность звеньев высокомолекулярных соединений, будет способствовать повышению его адгезии к каменным материалам (рис. 151). Такими добавками являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы поверхностно-активных веществ обладают амфотерными² свойствами и состоят из полярной и неполярной частей. Полярная часть (группа) обладает дипольным моментом. К таким полярным группам относятся —ОН, —COOH, NH₂, SH и многие другие. Эти группы являются гидрофильными, реакционноспособными, обладают более выраженным силовым полем и обуславливают хорошее прилипание к каменным материалам. Неполярная часть — неактивная, гидрофобная, состоит из углеводородной цепи или ароматического радикала, обладает слабым силовым полем. Такие молекулы, состоящие из полярной и неполярной части при адсорбции ориентируются по-

лярной частью в сторону более полярной фазы — каменного материала, а неполярной частью — к битуму или дегтю. При этом они понижают избыток свободной энергии, уравнивают разность полярностей между граничащими фазами (каменный материал — битум) и таким образом увеличивают энергию взаимодействия (прилипания) между ними.

Поверхностно-активные добавки по физико-химическому их взаимодействию разделяются на ионогенные и неионогенные. Ионогенные вещества, в свою очередь, подразделяются на анионактивные и катионактивные. В анионактивных веществах углеводородная часть молекул входит в состав аниона, а в катионактивных — в состав катиона. К анионактивным добавкам относятся высокомолекулярные органические кислоты, мылонафт — Na—, соли наftenовых кислот, производные карбоновых кислот — мыла, фенолы и др. К катионактивным веществам относятся амины, соли аминов и четырехзамещенные амониевые основания.

В качестве добавок обычно применяются технические продукты, отходы производства, в которых они содержатся в большом количестве. К таким веществам, содержащим анионактивные добавки, относятся окисленный петролатум, сырые нефтеновые кислоты, сульфитно-спиртовая бражка, soapstock, кубовые остатки жирных кислот, окисленный рисайкл, госсиполовая и древесные смолы и др. Наиболее эффективными добавками, получившими у нас широкое распространение, являются соли органических кислот щелочноземельных и тяжелых металлов, например ферронафт, ферросоапсток, ферролигносульфонат, феррорисайкл.

К катионактивным добавкам относятся: четырехзамещенные амониевые основания, катамин А, катапин А, алкилпиридионный бромид, жирные амины: октадециламин, ацилоамидоамин, дуамин Т, дуамин ТДО, сторамин (Швеция), нострип (США) — синтетическая добавка, состоящая из амидоаминового мыла и свободных высокомолекулярных кислот, содержащих 10—20 атомов углерода и др. Катионактивные добавки в СССР не получили широкого распространения. Для асфальтовых материалов содержание анионактивных добавок составляет 3—10% и катионактивных — 0,5—3% от массы вяжущего. К неионогенным добавкам относятся моноэфир ксилитана, моноолеат ксилитана. Можно также предполагать, что ряд добавок, отнесенных к ионогенным, при взаимодействии не диссоциируют и действуют как неионогенные. Следует помнить, что добавки, содержащие железо, активизируют процессы старения битумов.

Композиционные добавки. Для улучшения главным образом механических свойств в органические вяжущие могут вводиться другие материалы, которые совместно с вяжущим образуют композиционный материал: его свойства будут дополняться свойствами вводимой добавки. Введение композиционных добавок не меняет физико-химической структуры вяжущего. К этой группе добавок относятся различного рода наполнители: порошкообразные и волокнистые. В качестве таких добавок применяют минеральные по-

¹ Исследование Н. С. Дараган.

² Амфотерность — способность некоторых веществ проявлять двойные свойства, в данном случае молекулы поверхностно-активных добавок проявляют свойства полярных и неполярных веществ.

рошки из горных пород (известняков, доломитов, мраморов и др.). Более существенное влияние оказывают волокнистые наполнители: асбест, отходы шерсти, волокно хлопковых семян, стекловолокно, минеральное волокно, отходы текстильного волокна, синтетические волокна. Эти волокнистые наполнители являются армирующими компонентами и образуют как бы новый композиционный материал с повышенными механическими свойствами. Содержание волокнистых наполнителей колеблется от 5 до 20%.

Представляет интерес введение в качестве добавки к битумам и дегтям мелкоизмельченного угля. В США исследования проводились с углями при большом содержании летучих веществ. Измельченный угольный порошок в количестве до 20% смешивался с битумом при $t=150^{\circ}\text{C}$ и в течение 1—3 ч эта смесь перемешивалась циркулированием через шестеренчатый насос. После такой подготовки производилось дегидрирование в течение 1 ч при $t=315^{\circ}\text{C}$.

Химические реакции между углем и битумом не наблюдались, но полученная суспензия была стабильна вследствие близости химического состава. Существенного изменения свойств битума не наблюдалось, и эта добавка рассматривается как неактивный наполнитель, увеличивающий объем получаемого вяжущего. Для дегтевых вяжущих ее применение более эффективно.

§ 86. ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ БИТУМА В ТОНКИХ СЛОЯХ

В дорожном строительстве битумы применяются как связующие материалы. Органические вяжущие, объединяясь с каменными материалами, образуют на них относительно тонкие пленки. Свойства получаемых конгломератных материалов в основном определяются свойствами битума, находящегося в тонких слоях. Исследование вещества, находящегося в тонких слоях, показало, что тонкие граничные слои жидкостей приобретают под действием поверхности твердых тел особые свойства, отличные от таковых в объеме, при этом изменяется плотность, теплопроводность, обнаруживается сдвиговая упругость (табл. 82).

Таблица 82

Вещество	t°, C	Объемное значение G , дин/см ²	Толщина граничного слоя, мк
Ацетон	25	$0,42 \cdot 10^4$	0,08
Вода	25	$1,1 \cdot 10^4$	0,09
Спирт	17	$0,8 \cdot 10^4$	0,07
Вазелиновое масло	14	$3,7 \cdot 10^5$	—

При объединении битума с минеральными материалами (в особенности с минеральными порошками¹⁾) в зависимости от их свойств на границе раздела протекают сложные физико-химические про-

¹ Минеральный порошок — один из основных структурообразующих компонентов асфальтобетона — представляет собой тонкоизмельченный каменный материал; по суммарной поверхности составляет около 90% всех минеральных составляющих бетона.

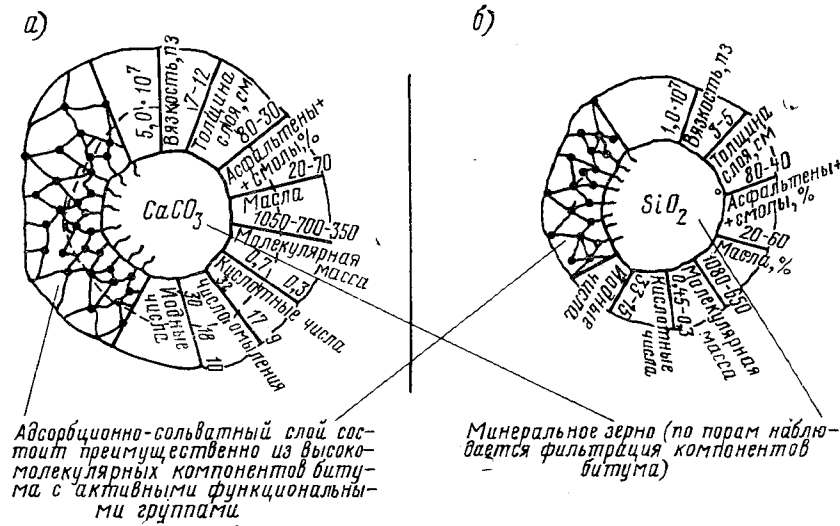


Рис. 152. Схематическое изображение характера адсорбционно-сольватных слоев битума на зернах:
а — известняка; б — кварца.
По радиальным линиям показано изменение группового состава, молекулярного веса, ионных, кислотных чисел по толщине адсорбционно-сольватных слоев

цессы, которые оказывают влияние на адгезию (сцепление) битума с поверхностью минерального материала, а также на формирование адсорбционно-сольватных оболочек. В силу избирательного характера адсорбции происходит формирование более или менее водоустойчивых и теплоустойчивых, а также пластичных или жестких систем.

Шероховатая и пористая поверхность минерального порошка способствует увеличению адгезии вяжущего.

Наиболее обширные исследования взаимодействия органических вяжущих с каменными материалами с использованием современных методов исследования; хроматографического и люминесцентного анализов, инфракрасной спектроскопии выполнены в ХАДИ и Союздорнии. На основании проведенных работ образование адсорбционно-сольватных оболочек на известняковом и кварцевом минеральном материале может быть представлено в следующем виде (рис. 152).

При объединении минеральных материалов с битумом наряду с сорбционными процессами имеет место капиллярная фильтрация битума и его компонентов внутрь зерен минерального материала. Интенсивность этого процесса зависит главным образом от характера пористости и смачивающей способности (или гидрофобности) минерального материала.

В известняках (относительно гидрофобных материалах) этот процесс более выражен и протекает в зависимости от пористости

значительно интенсивнее. Для песчаников и гранитов (более гидрофильных материалов) этот процесс менее выражен и обуславливается главным образом микропористостью за счет капиллярной фильтрации, которая может существенно влиять на структурное изменение битума и механические свойства асфальтовых материалов.

Это взаимодействие зависит также от свойств битума. Наиболее активными являются высокомолекулярные соединения, содержащие активные функциональные группы и в особенности карбоксильные группы и алифатические углеводороды, которые не поддаются полной десорбции. Соединения с эфирными связями адсорбируют менее прочно и поддаются десорбции; их адсорбция, по видимому, обуславливается полярными силами эфирных связей. В отношении компонентного состава битума асфальтостомолистая часть является наиболее активной, менее активны масла.

Известняковые и кварцевые минеральные материалы по-разному взаимодействуют с битумом. Известняки за счет более интенсивной фильтрации и адсорбционных процессов образуют достаточно прочные соединения с битумом. Адсорбционно-сольватные оболочки, образующиеся на известняковых материалах, более развиты и достигают до 3—8 мк. Это способствует образованию водо- и теплоустойчивых асфальтовых систем с относительно высокими механическими свойствами.

Кварцевые минеральные материалы адсорбируют битумы значительно слабее, чем известняки, при этом сорбированная часть находится в непрочной связи, так как легко десорбируется тем же растворителем; образующиеся при адсорбции оболочки менее развиты, чем на зернах известняка и менее прочно удерживаются на его поверхности.

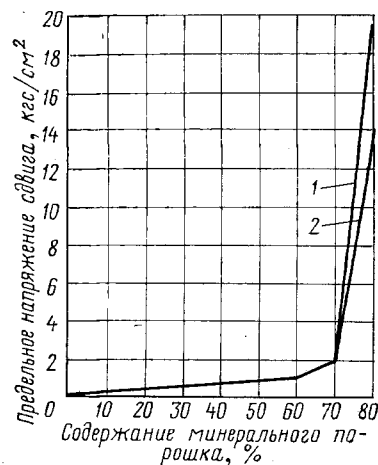


Рис. 153. Изменение структурно-реологических свойств в зависимости от содержания минерального порошка:

1 — известнякового; 2 — кварцевого

Исследование связанного битума, находящегося в адсорбционно-сольватных оболочках, проводилось на когезиметре (между двумя параллельными пластинами). Аналогичные исследования проводились со смесями минеральных порошков с битумом. Для этих исследований изменение структурно-механических свойств определялось методом погружения конуса акад. П. А. Ребиндера (рис. 153).

Свойства адсорбционно-сольватных слоев начинают проявляться при концентрации минеральных зерен свыше 70—75%, т. е. при максимальном объеме дисперсной фазы (74%). До этой концентрации свой-

ства обуславливаются свойствами вяжущего и повышение вязкости при содержании минерального порошка от 0 до 70% происходит пропорционально вводимому порошку, подчиняясь закону Энштейна:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5\varphi),$$

где η_0 и η — соответственно вязкости до и после введения дисперсной фазы; φ — объемная доля диспергированного вещества.

При концентрации минерального порошка 70—75% образуется новая структурная система, в которой контакты осуществляются по оболочкам адсорбционно-сольватных слоев. При этом происходит резкое повышение показателей механической прочности, которое объясняется тем, что битум в тонких слоях адсорбционных оболочек имеет повышенную вязкость. Эту закономерность, установленную автором, необходимо учитывать при проектировании составов гидроизоляционных материалов и асфальтобетонов.

§ 87. ПЕРЕВОЗКА И ХРАНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Выпускаемые органические вяжущие материалы по своим свойствам должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов, ТУ. На каждую партию поставляемого материала завод высылает в адрес потребителя паспорт, в котором указывается наименование завода и его адрес, характеристика материала и его марка, номер партии и ее масса, дата отправки.

При перевозке и хранении битумо-дегтевые материалы должны быть защищены от атмосферных воздействий и возможного загрязнения. Для перевозки твердых битумов и пека используют обычные крытые вагоны и платформы, вязкие битумы и дегти перевозят в цистернах, оборудованных змеевиками для разогрева, а также в бункерных полувагонах. При перевозке и хранении отдельных видов органически вяжущих материалов должны соблюдаться указания, приведенные в табл. 83.

При разгрузке цистерн и транспортировании по трубам температура разогрева органических вяжущих материалов может быть принята в следующих пределах:

Нефтяные битумы вязкие	90—100° С
Сланцевые битумы вязкие	80—90° С
Дегти вязкие	50—60° С
Жидкие битумы марок 1—2	20—30° С
» » » 3—6	40—50° С
Жидкие дегти	20—40° С

Приемка. Доставленный материал принимают по прилагаемому к нему паспорту, определяя массу партии, а также свойства по данным контрольных испытаний образцов. При перевозке кускового материала в вагонах или автомобилях их взвешивают на весах или определяют объем материала и его среднюю объемную массу, на основании чего подсчитывают массу всего материала. Массу мате-

Органические вяжущие материалы	Требования	
	при упаковке и перевозке	при хранении
Битумы полутвердые (дорожные всех марок, кровельные БНК-2), дегти каменноугольные (за исключением Д-1), сланцевые, пек жидкий	Транспортируются в бункерных полувагонах, автоцистернах, стальных бочках и контейнерах, в деревянных бочках, железнодорожных цистернах с нижним сливным прибором диаметром не менее 160 мм, оборудованных змеевиками	Доставленные в таре хранятся на складах или под навесом, поступающие в цистернах, бункерных полувагонах, автоцистернах, автогудронаторах — в специальных закрытых хранилищах
Битумы строительные всех марок и битум кровельный БНК-5	Упаковываются в бочки, деревянные бидоны, барабаны фанерные и металлофанерные, мешки бумажные, кроме того, без тары могут формоваться в плиты. Транспортируются в крытых вагонах и на платформах	Доставленные в таре или навалом хранятся на складах или под навесом
Пек твердый	Транспортируется без тары в крытых вагонах или на платформе	Должен храниться в закрытых складах или под навесом
Битумы жидкие марок СГ и МГ-15/25 до СГ и МГ-25/40, дегти от Д-1 до Д-4	Транспортируются в железнодорожных цистернах, бункерных полувагонах, автоцистернах, стальных бочках, контейнерах и деревянных бочках	Доставленные в таре хранятся на складах и под навесом, доставленные в цистернах, бункерных полувагонах, автоцистернах — в специальных закрытых помещениях
Битумы жидкие марок от СГ и МГ-40/70 до СГ и МГ-130/200, дегти каменноугольные марок от Д-4 до Д-8	Транспортируются в вагонах-цистернах с нижним сливным прибором диаметром 160 мм, оборудованных змеевиками для разогрева паром	Должны храниться в закрытых хранилищах, обогреваемых паром

риала в цистернах и бункерных полувагонах определяют взвешиванием или по степени заполнения геометрической емкости тары и плотности материала.

Для контрольных испытаний свойств материала отбирают среднюю пробу и испытывают в лаборатории в соответствии с техническими условиями и ГОСТом. Вязкость материала рекомендуется определять до загрузки транспортных средств, чтобы не смешивать материалы разных марок. Чтобы ускорить определение вязкости доставленного материала, его испытывают при температуре, близкой к температуре испытания, а затем вводят поправку на температуру.

Разогрев. Органические вяжущие материалы перед использованием должны быть приведены в рабочее состояние, при котором они легко объединяются с минеральными материалами во время сме-

шения, пропитки или поверхностной обработки дорожных покрытий. Это достигается подогревом вязких материалов до температуры 50—180°С или добавкой к ним разжижителей и доведением вязкости до 1—5 пз. Наиболее высокую рабочую температуру имеют нефтяные вязкие битумы, обладающие большей вязкостью и теплоустойчивостью, а самую низкую — жидкие каменноугольные дегти.

Нагревание органических вяжущих материалов выше рабочей температуры недопустимо, так как приводит к интенсивному испарению летучих фракций, процессам разложения высокомолекулярных органических соединений и резкому изменению их свойств. Органические вяжущие разогревают водяным паром, газами от сжигания топлива, циркулирующими по трубам или каналам, и электричеством. В зависимости от условий производства и вида разогреваемых материалов применяются одноступенчатая, двухступенчатая и многоступенчатая схемы подогрева. При изготовлении разжиженных битумов и составленных дегтей с применением жидких и летучих разжижителей подогревают только вязкий битум или пек, разжижитель добавляют в холодном состоянии.

Температуру нагрева вязко-твердых компонентов устанавливают с учетом температуры получаемого материала и степени летучести и огнеопасности разжижителей, но она не должна быть выше 120—150°С. Если разжижитель вязкий и содержит воду (сырая смола), его отдельно подогревают до 90—100°С и до смешения выпаривают воду. При значительном содержании в смеси вязкого разжижителя (сырой смолы) твердый компонент (пек) добавляют мелкими кусками в подогретый разжижитель. В процессе добавления компоненты тщательно перемешивают с помощью наноса, специальной мешалкой или вручную. Материалы смешивают в отдельном котле при потуженной топке.

Технический контроль заключается в проверке рабочей температуры материала при подогреве, продолжительности нагрева, правильности дозирования исходных материалов при изготовлении смешанных битумов и дегтей и вязкости после их изготовления. Температуру измеряют пирометрами или термометрами, установленными в котле и отсеке хранилища. В процессе подогрева измеряют и фиксируют температуру материала через каждые 1,0—1,5 ч. Вязкость выдаваемого на строительство материала, как правило, проверяют при изготовлении разжиженных битумов и составленных дегтей.

Основные мероприятия по технике безопасности и охране труда. При работе с дегтевыми и битумными материалами должны строго соблюдаться правила техники безопасности и охраны труда и противопожарные мероприятия. Пековая пыль и другие дегтевые материалы вызывают раздражение кожи и слизистых оболочек, особенно в жаркую погоду. Для предупреждения травматизма при работах с пеком рабочие должны быть снабжены специальной одеждой, респираторами, предохранительными очками и рукавицами. Все незащищенные части тела (лицо и шея) должны быть

смазаны до начала работы мазью из вазелина и глины или мела. Погрузочно-разгрузочные работы предпочтительно вести ночью или в прохладное время, избегая работ под лучами солнца. Рабочие должны быть предварительно проинструктированы. За состоянием здоровья рабочих устанавливается врачебный надзор. Котлы для разогрева дегтевых и битумных материалов во избежание вредного воздействия ядовитых паров и газов должны быть оборудованы вентиляционными устройствами. Для предохранения от ожогов при внезапном вспенивании разогреваемых материалов рабочие, обслуживающие котлы, должны быть снабжены спецодеждой, а котлы оборудованы крышками на загрузочных люках и спускными лотками. При загрузке твердых кусков пека или битума в котлы должны быть устроены пологие лотки или трубы, устраняющие разбрызгивание горячего материала. Котлы для разогрева должны быть снабжены противопожарным оборудованием. За состоянием оборудования для разогрева, котлом, приемком и трубопроводом должен быть установлен тщательный технический надзор.

ГЛАВА XI

Асфальтобетон

§ 88. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Асфальтобетоном называют материал, полученный в результате уплотнения специально рассчитанной и тщательно приготовленной при соответствующей температуре смеси щебня, песка, минерального порошка и битума. Если вместо битума применяют дегтевые вяжущие материалы, то получаемые на их основе бетоны называют дегтебетоном. Материал, который получают путем смешения битума с минеральным порошком, принято называть *асфальтовяжущим веществом*, при введении в асфальтовяжущее вещество песка получают *асфальтовый раствор*.

Асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости применяемого битума и температуры, при которой смесь укладывают и уплотняют в покрытие, подразделяют на следующие разновидности:

Горячие, приготавливаемые на вязких битумах при температуре 140—160°С и укладываемые в покрытие при температуре не ниже 120°С; формирование структуры бетона в основном заканчивается в период уплотнения.

Теплые, приготавливаемые на битумах пониженной вязкости при температуре 90—130°С и укладываемые в покрытие при температуре 50—80°С, скорость формирования структуры бетона в зависимости от примененного битума может колебаться от нескольких часов до 10—15 сут.

Холодные, приготавливаемые на жидких битумах при температуре до 120°С и укладываемые в покрытие обычно после полного

остывания их. Формирование покрытия протекает медленно в течение 20—30 сут в зависимости от скорости загустевания битума, интенсивности движения транспорта и погодных условий.

По крупности зерен применяемого минерального материала асфальтобетон подразделяют на:

крупнозернистый	— с наибольшим размером зерен до 40 мм;
среднезернистый	— с наибольшим размером зерен до 20 мм;
мелкозернистый	— с наибольшим размером зерен до 15 мм;
песчаный	— с наибольшим размером зерен до 5 мм.

По структуре (плотности) асфальтобетон может быть: *плотный*, который характеризуется микропористой структурой минеральной части и остаточной (суммарной) пористостью от 3 до 5% объема; *пористый*, минеральная часть которого характеризуется крупнопористой структурой с остаточной (суммарной) пористостью от 5 до 10% объема.

По степени насыщения асфальтобетона основными структурообразующими компонентами (щебень, дробленый гравий) в нем выделяют *базальную, поровую и контактную структуру*.

В асфальтобетоне с базальной структурой зерна крупного компонента не имеют взаимных контактов, они как бы погружены в растворную часть. Механические свойства бетона обуславливаются преимущественно свойствами асфальтового раствора. Дальнейшее насыщение асфальтобетона структурообразующими компонентами приводит к контактированию зерен через тонкие прослойки вяжущего, формируется поровая структура, при которой образуется плотный каркас из зерен, способный воспринять значительные внешние усилия. В этом случае объем асфальтового раствора соответствует объему пустот в щебеночном остоле. Дальнейшее увеличение содержания щебня приводит к формированию контактной структуры, в которой объем пустот в щебеночном остоле превышает объем асфальтового раствора.

Тип асфальтобетона принимают в зависимости от вида движущихся по дороге транспортных средств, конструкции дорожной одежды, наличия строительных материалов и др.

Крупнозернистый асфальтобетон контактной структуры применяют для устройства нижнего слоя покрытия, шероховатая и пористая поверхность которого обеспечивает хорошее сцепление с верхним слоем.

Среднезернистый и мелкозернистый асфальтобетоны поровой структуры применяют для устройства верхнего слоя покрытия на участках дороги с большими продольными уклонами при тяжелом и интенсивном движении. Покрытия из этих типов асфальтобетона обладают повышенной шероховатостью, что обеспечивает хорошее сцепление с автомобильными шинами. Мелкозернистый асфальтобетон базальной структуры применяют для устройства верхнего слоя двухслойных покрытий при интенсивном движении. Асфальтобетон этого типа обладает достаточно высокой сопротивляемостью механическим воздействиям и атмосферным фактором.

Песчаный асфальтобетон поровой структуры, приготовленный на дробленом песке с большим содержанием зерен фракции 5—1,25 мм применяют для устройства верхнего слоя покрытия на дорогах со средней интенсивностью движения на участках, где требуется создание водонепроницаемого слоя.

Песчаный асфальтобетон базальной структуры на природном песке с малым содержанием зерен фракции 5—1,25 мм обладает меньшей сопротивляемостью усилиям, возникающим при движении транспортных средств, чем перечисленные выше типы асфальтобетонных, поэтому его применяют для устройства покрытий на автомобильных дорогах с легким движением, а также для полов в цехах промышленных предприятий, тротуаров, отмоستок и т. д.

Битумоминеральные смеси, приготавливаемые на минеральных материалах пониженного качества (по сравнению с материалами для асфальтобетона), применяют для устройства покрытий на дорогах с меньшей интенсивностью движения, покрытий облегченного типа, для устройства оснований и др.

§ 89. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Выбор составляющих материалов и технические требования к ним обусловлены их ролью в асфальтобетоне, типом асфальтобетона, а также назначением его в дорожной конструкции.

Щебень. Для приготовления щебня используют прочные морозостойкие изверженные, метаморфические и осадочные горные породы, а также прочные и морозостойкие медленно охлажденные металлургические шлаки.

Прочность при сжатии горных пород должна быть не менее 1000—1200 кгс/см². Осадочные карбонатные породы и металлургические шлаки могут быть использованы с прочностью не менее 800—1000 кгс/см². Несколько пониженные требования к прочности известняков, доломитов и шлаков компенсируются увеличенной прочностью асфальтобетона в связи с хорошим прилипанием битума к этим материалам. Для нижнего слоя асфальтобетонного покрытия можно применять щебень из горных пород и металлургических шлаков прочностью не менее 600 кгс/см². Показатель прочности при износе в полочном барабане для щебня из горных пород установлен не более 25—35%, а из шлаков не более 35%. Щебень для асфальтобетонных смесей должен быть чистым, не допускается содержание глинистых и пылеватых частиц свыше 2%. Форма зерен щебня должна приближаться к тетраэдной и кубовидной, а поверхность — к шероховатой, что обуславливает повышение внутреннего трения и прилипания вяжущего. Содержание лещадочных и игловатых зерен ограничивается 15—25%. Щебень для асфальтобетонных смесей должен выдерживать без разрушения не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания, а при применении щебня для нижнего слоя покрытия — не менее 25 циклов. Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют дробленый гравий с количеством дробленых зерен не менее 80%. К дробленому гравиям

Песок	Размер сит, мм					
	3	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14
	Частные остатки на ситах, %					
Природный	5—10	20—30	20—30	10—25	10—25	<15
Дробленый (высевки)	>15	15—30	20—25	10—25	10—20	<15

предъявляются те же требования, что и к щебню из скальных горных пород.

Песок. Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют природные и искусственные пески (высевки). Природные пески применяют кварцевые, аркозовые и другие крупно- или среднезернистые (модуль крупности $M_k > 2,0$). В случае применения местных мелкозернистых песков их зерновой состав улучшают добавлением к ним высевок.

Оптимальный гранулометрический состав песка приведен в табл. 84.

Природные пески должны быть разнозернистые, чистые, с содержанием пылевато-глинистых частиц не более 3% по массе. Высевки получают дроблением горных пород (некарбонатных) прочностью не ниже 1000 кгс/см² или кристаллических металлургических шлаков.

Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей приготавливают размолотом известняков, доломитов (прочностью не менее 200 кгс/см²), доменных шлаков, а также битуминозных известняков. Тонкость помола порошков должна быть такой, чтобы при мокром рассеивании сита с отверстиями 1,25 мм проходило 100%, 0,315 мм — не менее 90% и 0,071 мм — не менее 70% порошка, при этом пустотность его при уплотнении в специальной форме нагрузкой 400 кгс/см² должна быть не более 35%.

Физико-химическое взаимодействие битума с минеральным порошком приближенно определяют коэффициентом гидрофильности частиц порошка размером менее 1,25 мм. Коэффициентом гидрофильности называют отношение показателя набухания минерального порошка в воде (полярная среда) к показателю набухания в обезвоженном керосине (неполярная среда). Более гидрофильные порошки имеют большее сродство с водой и характеризуются коэффициентом гидрофильности более 1, а менее гидрофильные — менее 1. Для асфальтобетона не рекомендуют порошки с показателем коэффициента гидрофильности более 1.

Карбонатные горные породы, используемые для производства минеральных порошков, не должны содержать глинистых примесей более 5%.

В ряде случаев в качестве минеральных порошков применяют местные материалы — порошкообразные отходы промышленности

(пыль-уноса цементных заводов, золы, дефекационные отходы сахарных заводов, отходы асбестоцементного производства). Качество этих порошков различное, поэтому в каждом случае тщательно проверяют свойства порошков и приготовленных смесей. При этом важно установить также расход битума, технологические свойства смеси на принятом порошке и влияние порошка на долговечность асфальтобетона.

Вследствие того что минеральные порошки имеют тонкозернистый состав, они обладают повышенной гигроскопичностью, что приводит к комкуемости их при длительном хранении на складах. Обладая большой поверхностной энергией, они интенсивно реагируют с битумом, быстро изменяют его вязкость, что несколько затрудняет процессы перемешивания и в особенности уплотнения смесей. Значительно улучшаются свойства минеральных порошков после предварительной гидрофобизации, т. е. обработки небольшими дозами битума малой вязкости или другими гидрофобизирующими веществами с добавками поверхностно-активных веществ (торфяного или древесного дегтя, ферролигносульфоната и др.). Гидрофобизированные порошки при хранении не комкуются, при транспортировании не распыливаются, значительно улучшают перемешивание и уплотнение смесей; расход битума при приготовлении асфальтобетонных смесей уменьшается.

Прогрессивным способом улучшения качества минерального порошка является разработанная Л. Б. Гезенцевем активация поверхности зерен битумом с поверхностно-активными добавками в процессе помола.

Битумы. Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют нефтяные дорожные вязкие и жидкие битумы, отвечающие требованиям ГОСТ 11954—66 и ГОСТ 11955—66. Теплые асфальтобетонные смеси могут быть приготовлены на битумах с глубиной проникания 130—200, 200—300, полученные разжижением вязких битумов разжижителями. Выбор разжижителя зависит от типа асфальтобетона, качества минеральных составляющих, условий строительства и эксплуатации дорожных покрытий. В тех случаях, когда при смешении асфальтобетонной смеси не может быть обеспечено достаточно прочное прилипание (адгезия) битума к поверхности минеральных зерен, вводят в небольшом количестве поверхностно-активные вещества.

§ 90. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Структурообразование в асфальтобетоне начинается с момента объединения минеральных материалов с битумом и заканчивается при уплотнении уплотняющими средствами и далее под движением автомобилей. В процессе структурообразования прослеживаются три периода с присущими для каждого особенностями: первый — период активного структурообразования протекает в момент объединения битума с минеральным материалом; второй — сближе-

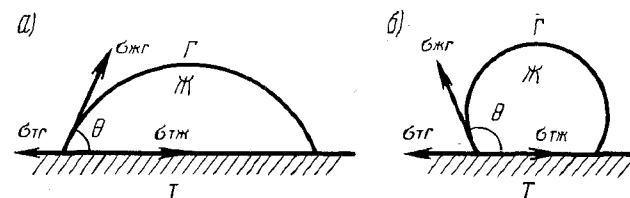


Рис. 154. Капля жидкости на поверхности твердого тела:
а — смачивающей; б — несмачивающей

ние структурных элементов смеси при ее укладке и уплотнении; третий — период стабилизации микроструктурных связей в асфальтобетоне при эксплуатации покрытия.

Первый период — период активного структурообразования является наиболее кратковременным, продолжительность его исчисляется минутами. За это время все минеральные компоненты смеси должны быть равномерно покрыты битумной пленкой. Нормальное протекание процесса структурообразования обуславливается прежде всего хорошим смачиванием битумом минерального материала.

При нанесении капли жидкости на поверхность твердого тела капля принимает форму, близкую к сферической, или растекается по поверхности твердого тела (рис. 154). В первом случае поверхность твердого тела не смачивается, во втором — смачивается. Мерой смачиваемости твердого тела жидкостью является угол смачивания, который может изменяться от 0 до 180°. Все три межфазные границы раздела обладают соответствующим поверхностным натяжением (свободными энергиями $\sigma_{жг}$, $\sigma_{жт}$ и $\sigma_{тг}$). Эти три силы, будучи приложены к периметру смачивания, приводят к большему или меньшему растеканию жидкости по поверхности твердого тела, $\sigma_{тг}$ заставляет растекаться каплю, $\sigma_{жт}$ стремится стянуть каплю к ее центру. Отсюда следует, что условием смачивания является неравенство $\sigma_{тг} > \sigma_{жт} + \sigma_{жг}$, т. е. поверхностное натяжение твердого тела, стремящееся растянуть каплю в жидкую пленку, должно быть больше суммы поверхностных натяжений на границе капли с воздухом и твердым телом.

Условием несмачиваемости минерального материала является неравенство $\sigma_{жт} > \sigma_{тг} + \sigma_{жг}$, т. е. поверхностное натяжение на границе жидкости и твердого тела должно быть больше суммы поверхностных натяжений твердого тела и жидкости на границе с воздухом. Это натяжение стремится стянуть каплю в шар и мешает ей растечься по поверхности твердого тела.

Наличие на поверхности минерального материала паров воды, адсорбируемых из воздуха, водной пленки вследствие плохого просушивания минерального материала, загрязнения пылью поверхности зерен щебня — все это ухудшает смачивание. Улучшение смачивания битумом минерального материала достигается предварительной обработкой щебня, песка и минерального порошка какой-либо углеводородной жидкостью или предварительной активацией минеральных материалов.

Смачивание минеральных материалов вяжущим в какой-то степени является первым актом физической и химической сорбции битума поверхностью минеральных материалов. Процессы физической адсорбции определяются сферой действия межмолекулярных сил (ван-дер-ваальсовы силы) минерального материала, радиус действия которых зависит прежде всего от структуры кристаллической решетки материала и размера частиц в смеси. Эти силы приводят к образованию на минеральных зернах ориентированных слоев битума.

При химическом взаимодействии на границе раздела образуются новые химические соединения. В этом случае прочность связи битума с минеральной подкладкой в сотни раз превышает связь физическую. Хемоадсорбционные процессы возникают при объединении минеральных материалов из карбонатных и основных горных пород с битумами, содержащими анионноактивные поверхностно-активные вещества (нафтеновые, асфальтогеновые кислоты и др.). Новые химические соединения типа кальциевых и других мыл создают прочные и устойчивые к воздействию воды связи. Для образования хемоадсорбционных соединений на границе битум — минеральный материал из кислых горных пород (гранит, песчаник) в битум вводят катионноактивные поверхностно-активные вещества.

При объединении минерального материала с битумом наряду с сорбционными процессами имеет место и капиллярная диффузия компонентов битума внутрь минеральных зерен (при тонкопористой их текстуре, например, у некоторых известняков, песчаников, металлургических шлаков), интенсивность которой зависит от характера пористости зерен. При применении таких минеральных материалов вязкость битума должна быть меньше на 10—15%, чем битумов, применяемых в асфальтобетонах, минеральная часть которых состоит из плотных материалов.

Второй период начинается с момента выпуска смеси из смесителя и заканчивается при уплотнении. В этот период происходит дальнейшее формирование ориентированного слоя битума на минеральных частицах и вследствие приложения нагрузки сближение структурообразующих элементов до максимальной плотности.

При приложении нагрузки или в результате действия собственной массы в асфальтобетонной смеси начинают происходить прежде всего структурные деформации¹, заключающиеся во взаимном перемещении зерен. Они приводят к уменьшению занимаемого материалом объема без деформации частиц и всегда предшествуют упруго-пластическим деформациям. При этом частицы бетона переходят в более устойчивое положение равновесия с более прочной связью между ними. Доля структурных деформаций уменьшается по мере уплотнения всей системы, а доля упругих деформаций возрастает (рис. 155).

При сближении частиц происходят прежде всего физические

¹ Структурные деформации — это деформации, связанные с изменением структуры и свойств материала.

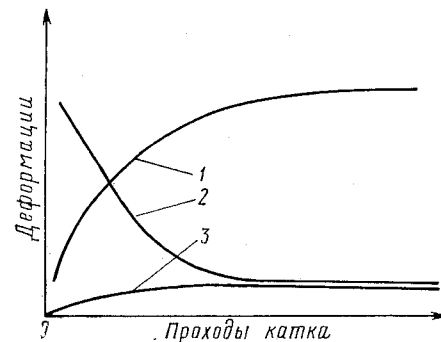


Рис. 155. Типы деформаций при уплотнении асфальтобетонной смеси:

1 — упругие; 2 — структурные; 3 — эластические

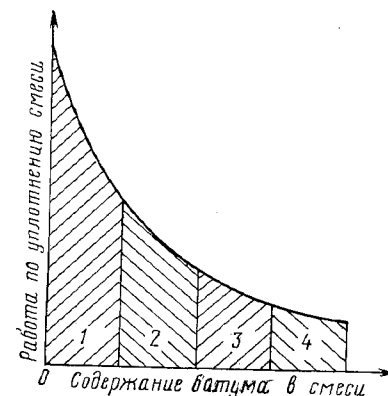


Рис. 156. Схема работы по уплотнению асфальтобетонной смеси различной подвижности:

1 — жесткая; 2 — пластичная; 3 — очень пластичная; 4 — литая

процессы в пленке битума, приводящие к выжиманию ее из зон повышенного напряжения. Свободный битум заполняет межзерновое пространство, на частицах остается пленка ориентированного битума, при этом коагуляционные связи в асфальтобетонной смеси упрочняются, прочность всей системы возрастает.

Прочность и долговечность асфальтобетона, уплотненного до проектной плотности при сравнительно невысоких температурах, как правило, выше, чем бетона с той же плотностью, но уплотненного при высокой температуре. Это связано с тем, что с понижением температуры увеличивается толщина ориентированного слоя битума за счет уменьшения свободного битума на минеральных частицах. Этот битум при уплотнении почти не перемещается в межзерновое пространство. Контактные напряжения на соприкасающихся частицах релаксируются пленкой битума, минеральные зерна мало дробятся, прочность системы под действием атмосферных реагентов и нагрузки мало изменяется.

Уплотняемость связана с природой минерального материала и битума. Так, уплотняемость асфальтобетона на известняковом материале лучше, чем на материалах из песчаника. На частицах песчаника битум располагается неравномерно и толщина пленки меняется от долей микрона до десятков микрон. В это время на известняковых частицах пленка имеет одинаковую толщину. Кроме того, на зернах известняка пленка битума имеет более выраженное адсорбционно-диффузное строение. У поверхности минеральной частицы больше высокомолекулярных углеводородов (асфальтенов), на периферии больше масел, которые способствуют уплотняемости смеси. Уплотняемость асфальтобетонных смесей связана с формой частиц. Природный окатанный песок улучшает уплотняемость смеси. Свободный битум заполняет межзерновое пространство. На

частицах остается пленка ориентированного битума, обладающего значительно большей вязкостью, чем свободный, при этом коагуляционные связи в асфальтобетонной смеси упрочняются и прочность всей системы возрастает.

При уплотнении битумная пленка выполняет роль смазки, снижающей внутреннее трение в сыпучем материале, при этом работа, необходимая для уплотнения смеси, уменьшается. С увеличением содержания битума в смеси работа, затраченная на уплотнение, естественно, уменьшается, а при уменьшенном содержании, наоборот, возрастает. Этим и можно объяснить, что литой асфальтобетон, содержащий битум в избытке, уплотняется при минимуме затраты работы, а холодные асфальтобетонные смеси — при максимуме работы (рис. 156).

Регулирование процессов уплотнения возможно за счет изменения температуры асфальтобетонной смеси. В общем случае с повышением температуры смеси снижается энергоемкость уплотнения. Однако в случае недостаточной когезионной прочности при высокой температуре смеси способность ее к уплотнению понижается. При этом минеральные зерна под действием нагрузки будут сближаться до предельно возможного расстояния, но после снятия нагрузки частицы вследствие возникающих в них упругих деформаций, а также расклинивающего действия битумной пленки будут отталкиваться друг от друга, вследствие чего система будет разуплотняться. Это может быть объяснено тем, что клеящая способность битума при данной температуре недостаточна для фиксации минеральных частиц в период их наибольшего сближения. На практике это приводит к образованию волосных трещин после прохода катка.

Третий период характеризуется дальнейшим формированием структуры асфальтобетона в результате увеличения вязкости битума за счет внутренних необратимых процессов и упрочнения связей на границе раздела минеральный материал — вяжущее; происходит дальнейшая стабилизация ориентированного слоя битума или появление новообразований в зоне контакта. В зависимости от условий среды, а также свойств минерального материала и битума эти процессы проходят одновременно или возможно преобладание одного из них. Так, в асфальтобетоне на известняковом щебне вязкость вяжущего за счет окисления последнего изменяется незначительно. Минеральный материал из кислых горных пород не вызывает активной сорбции вяжущего, которое, находясь в свободном состоянии, будет интенсивно изменяться под влиянием атмосферных факторов.

Под воздействием автомобилей, атмосферных факторов в асфальтобетоне возможно дальнейшее упрочнение структуры и, наоборот, разупрочнение. Если правильно выбраны составы смесей, все режимы технологических процессов выдержаны, то асфальтобетон в покрытии под действием автомобилей лишь упрочняется. Если же на каком-либо этапе допущено отклонение от заданного режима, то в этот заключительный период происходит разупрочнение структуры асфальтобетона. Наиболее распространенным отступлением являет-

ся недоуплотнение асфальтобетона. Массовые разрушения асфальтобетона в этот начальный период эксплуатации связаны с малой водостойкостью и морозостойкостью пористого асфальтобетона. Даже малое недоуплотнение асфальтобетонной смеси, приготовленной на гидрофильных минеральных материалах, приводит к резкому снижению водо- и морозостойкости асфальтобетона. Таким образом, если в первом периоде происходит формирование микроструктурных связей и микроструктуры, то во втором и третьем периодах происходит окончательное формирование и макроструктуры асфальтобетона. Стабилизация свойств длится на протяжении всего срока службы покрытия и определяется дальнейшими изменениями свойств вяжущего под воздействием атмосферных факторов и внутренней структуры минерального материала.

§ 91. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИТУМА В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

Процесс приготовления асфальтобетонной смеси рассчитан на полное покрытие каждого минерального зерна пленкой битума. Прочность и устойчивость асфальтобетона во многом зависит от равномерности распределения битума в смеси. В случае неполного покрытия минеральных зерен битумной пленкой асфальтобетон разрушается во влажной среде вследствие проникновения воды через открытые места на зернах под битумную пленку и вытеснения ее с поверхности. Допуская, что зерна в асфальтобетонной смеси приближаются по своей форме к правильной, их удельную поверхность можно выразить в следующем виде:

$$S = \frac{K}{A \gamma_m}, \quad (1)$$

где K — коэффициент формы зерен (для шара — 6, для куба — 8,5, для тетраэдра — 14,7); A — линейный размер зерна, мм; γ_m — плотность минерального материала.

В табл. 85 приведены величины удельной поверхности некоторых материалов, применяемых для приготовления асфальтобетонных смесей.

Таблица 85

Размеры частиц, мм	Удельная поверхность, м ² /кг			
	Известняк	Диорит	Гранит	Кварцевый песок
<0,071	470,0	286,5	290,0	190,0
0,071—0,14	116,1	107,0	67,0	40,0
0,14—0,315	22,4	21,9	28,0	12,0
0,315—0,63	10,3	10,5	14,0	8,0
0,63—1,25	5,5	5,5	6,5	5,8
1,25—3	3,6	3,6	3,7	2,5
3—5	1,45	1,4	1,7	1
5—10	0,73	0,71	0,74	—
10—15	0,44	0,42	0,44	—

Если принять асфальтобетон, содержащий щебня 40%, высевок 40, кварцевого песка 10 и известнякового порошка 10%, то общая поверхность будет равна 49,0 м²/кг. На долю минерального порошка приходится 80%, высевок 15%, песка 3,7% и на долю щебня 0,3% от общей поверхности минеральной части.

Распределение битума в асфальтобетоне взаимосвязано с удельной поверхностью следующей зависимостью:

$$\delta = \frac{aB}{S\gamma_6}, \quad (2)$$

где a — переводной коэффициент; B — количество битума, % от массы минеральной части; S — удельная поверхность зерен минерального материала, м²/кг; γ_6 — плотность битума; δ — толщина битумной пленки на минеральных зернах.

Подставляя в эту формулу зависимость (1), получаем

$$\delta = \frac{Aa B \gamma_m}{K \gamma_6}. \quad (3)$$

Из полученной зависимости (3) следует, что толщина пленки прямо пропорциональна количеству битума и величине зерен в смеси.

Для примера приводим рассчитанные по формуле (4) толщины пленок в асфальтобетоне на известняковом и гранитном материалах и кварцевом песке (табл. 86):

$$\delta = \frac{10}{S_m P_m \gamma_6} \left[B - \frac{1}{10} \gamma_6 \sum_{i=1}^{m-1} P_i S_i \delta_i \right], \quad (4)$$

Таблица 86

Горная порода	Фракции, мм									
	0,071	0,071— 0,14	0,14— 0,315	0,315— 0,63	0,63— 1,25	1,25—3	3—5	5—10	10—15	15—25
Толщина битумной пленки, мк										
Плотный известняк	0,26	1,86	3,6	4,4	9,0	18	33	54	66	72
Гранит	0,25	1,84	3,4	4,3	6,7	20	39	64	78	84
Песок, гра- вий кварце- вый	0,22	1,40	2,8	3,7	5,8	12	23	38	52	58

где S_m — удельная поверхность фракции m , м²/кг; P_m — содержание фракции m в частях от целого; γ_6 — плотность битума; B — оптимальное количество битума в смеси, %; P_i — содержание фракций i в частях от целого; S_i — удельная поверхность фракции i , м²/кг; δ_i — толщина битумной пленки на зернах фракций i , мк.

Толщина битумной пленки в асфальтобетоне изменяется от долей микрона на частицах порошка до десятков микрон на зернах щебня (рис. 157).

Известняковые частицы формируют пленку несколько большей толщины, чем гранитные, а на щебенках из гранита пленка толще, чем на крупных известняковых зернах. Это объясняется тем, что в мелких частицах в наибольшей степени проявляется природа минерального материала, а в крупных — шероховатость поверхности зерен.

Толщина битумной пленки на минеральных зернах взаимосвязана также с вязкостью исходного битума. Чем меньше вязкость, тем тоньше пленка. Так, с изменением вязкости битума от марки БНД-40/60 до БНД-200/300 толщина пленки на зернах уменьшается на 10—15%.

Часть битумной пленки, покрывающей зерна, находится в зоне действия межмолекулярных сил материала и представляет собой связанный слой битума. В слое ориентированного битума можно выделить три зоны с характерными физико-механическими свойствами: 1 — твердообразная, 2 — структурированная, 3 — диффузная. Твердообразная зона представлена в основном адсорбционным слоем. Резкого перехода между связанным слоем и свободным битумом, а также внутри граничного слоя между зонами нет. В зависимости от размера зерен и содержания в битуме высокомолекулярной части величина ориентированного слоя может меняться от 1 до 4 мк. По мере приближения к поверхности минеральных материалов в связанном слое увеличивается содержание асфальтенов. Следовательно, при полном переводе битума в асфальтобетон из свободного в ориентированное состояние достигается наибольшая прочность системы. Поэтому асфальтовязующее, в котором толщина пленки менее 1 мк, обладает значительно большей прочностью, чем асфальтовый раствор и тем более асфальтобетон. Необходимо стремиться к тому, чтобы отдельные минеральные зерна соприкасались между собой по слою ориентированного битума.

Если минеральный остов имеет значительную пустотность, то для получения заданной остаточной пористости требуется часть пустот заполнить битумом. В асфальтобетоне увеличивается содержание объемного битума. Роль связанного битума уменьшается, так как в зонах контакта имеется и свободный битум.

§ 92. СТРУКТУРА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Свойства строительных материалов определяются их составом, состоянием и структурой. Аналогично тому, как для химического вещества важнейшее значение имеет его молекулярное строение, так

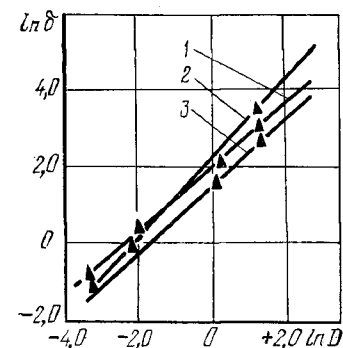


Рис. 157. Зависимость толщины пленки битума от размера зерен: 1 — известняк; 2 — гранит; 3 — кварцевый песок

для строительных материалов важным признаком является его структура, определяемая количеством и качеством минеральных составляющих, их взаимным расположением и характером связей между ними.

Структура асфальтобетона формируется за счет процессов, которые в значительной мере могут быть управляемы технологическими приемами для получения асфальтобетона заданных структур и свойств.

Впервые представления о взаимосвязи структуры и свойств асфальтобетона были изложены П. В. Сахаровым. Он считал, что многообразие свойств асфальтобетона зависит от его структуры, которая, в свою очередь, является функцией свойств частей, их относительных масс в единице объема готового материала, равномерности распределения, правильности и тщательности производственных процессов.

П. В. Сахаров предложил рассматривать асфальтобетон как материал, состоящий из двух частей — минерального остова и асфальтовяжущего вещества, представляющего собой структурированную систему. Смесь минерального порошка и битума образует асфальтовяжущее вещество, обладающее коагуляционной тикструпной микроструктурой, которая отражает количественное соотношение, расположение и взаимодействие вяжущего и наиболее дисперсной и активной составляющей асфальтобетона — минерального порошка.

Свойства асфальтовяжущего резко изменяются в зависимости от содержания минерального порошка (рис. 158). На начальном участке I изменение показателей структурно-механических свойств прямо пропорционально количеству вводимого минерального порошка. В этом случае частицы с образующимися на них ориентированными слоями битума не взаимодействуют между собой и свойства системы определяются свойствами свободного битума. С увеличением содержания минерального порошка — участок II — расстояние между отдельными частицами становится меньше, чем сумма толщин структурированных оболочек двух соседних частиц, и свойства системы обуславливаются степенью взаимодействия ориентированных слоев. При концентрации минерального порошка выше критической образуется новая коагуляционная структура с участием зерен активного наполнителя в качестве центров структурообразования.

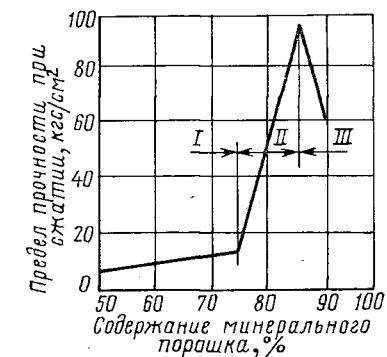


Рис. 158. Зависимость прочности при сжатии асфальтовяжущего от содержания порошка (по данным Н. В. Горелышева)

При увеличении количества минерального порошка выше оптимального предела — участок III — в системе минеральный порошок — вяжущее появляется воздушная фа-

за, увеличивается количество пор, что приводит к снижению прочности.

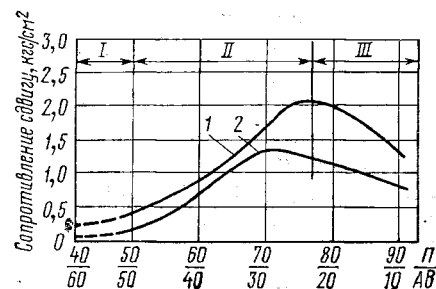


Рис. 159. Зависимость прочности при сдвиге асфальтового раствора от содержания песка различной крупности (по данным Ф. К. Замниуса): 1 — среднезернистый песок; 2 — мелкозернистый песок

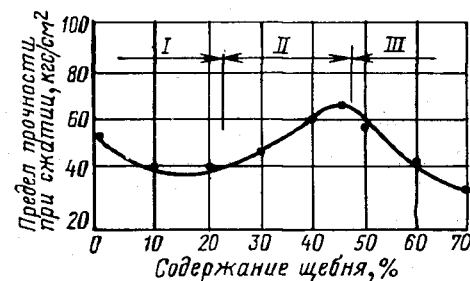


Рис. 160. Характер изменения прочности асфальтобетона при разном содержании щебня: I — базальная; II — поровая; III — контактная макроструктура

за, увеличивается количество пор, что приводит к снижению прочности.

Поскольку частицы минерального порошка могут рассматриваться как центры активного структурообразования, вокруг которых образуются ассоциаты из асфальтенов и смол, то структурообразующая концентрация минерального порошка неодинакова для битумов различных видов и типов. Для битумов с большим содержанием асфальтенов она смещается в область уменьшения содержания минерального порошка, и, наоборот, для битумов с незначительным содержанием асфальтенов предел структурообразующей концентрации увеличивается. Зерна песка, введенные в асфальтовяжущее вещество, формируют структуру растворной части, которая в значительной степени определяет прочность, плотность, деформативность и другие свойства асфальтобетона. Прочность асфальтового раствора обуславливается качеством и формой частиц, соотношением между составляющими, взаимодействием песчаных частиц с асфальтовяжущим и свойствами микроструктуры.

Для асфальтового раствора существует такая концентрация песчаных зерен, когда значение сопротивления системы сдвигу после плавного участка I резко повышается участок II (рис. 159). При содержании песка меньше структурообразующей концентрации свойства асфальтового раствора определяются свойствами асфальтовяжущего, поскольку зерна рассеяны в микроструктурной составляющей и разделены толстыми слоями асфальтовяжущего. Выше этого предела происходит образование каркаса, приводящего к резкому увеличению предельного сопротивления сдвигу. Образованию оптимальной каркасной структуры соответствует максимум прочности при сдвиге. Дальнейшее увеличение количества песка (участок III) сопровождается образованием пористой структуры с недостаточным количеством контактов, что приводит к понижению прочности.

В связи с преобладанием влияния механических эффектов на прочность раствора, значения структурообразующей концентрации песка и абсолютные показатели прочности в значительной степени зависят от крупности зерен, их формы, удельной поверхности. Применение природных кварцевых песков приводит к снижению прочности асфальтобетона, которая обуславливается прежде всего степенью развитости поверхности. Как правило, удельная поверхность дробленых песков (высевов) при одинаковом модуле крупности в 1,5—1,8 раза больше, чем природных.

В соответствии с существующими представлениями щебень рассматривается как структурообразующий элемент мелко-, средне- и крупнозернистых асфальтобетонов, т. е. является основным макроструктурным элементом асфальтобетона. Макроструктура асфальтобетона определяется количественным соотношением, крупностью зерен щебня, связанных в монолит асфальтовым раствором, а также характером процессов взаимодействия на границе раздела фаз: поверхность минерального материала — вяжущее.

При незначительном содержании щебня свойства асфальтобетона определяются свойствами асфальтового раствора, поскольку зерна щебня являются отдельными вкраплениями, «плавающими» в растворной части (рис. 160). Зерна щебня в этом случае разделены толстыми прослойками раствора и являются своего рода заполнителем; размер, свойства поверхности, форма зерен щебня не оказывают в этом случае существенного влияния на свойства асфальтобетона. Больше того, в некоторых случаях введение 10—20% щебня может привести к снижению прочности асфальтобетона по сравнению с прочностью асфальтового раствора за счет снижения однородности системы.

Дальнейшее увеличение содержания щебня приводит к возникновению отдельных контактов между структурообразующими элементами через прослойки структурированного асфальтовяжущего и асфальтового раствора. В этом случае формируется специфический вид структуры (поровая), сопровождаемая интенсивным возрастанием прочности. При этом в асфальтобетоне рационально используются свойства пленок битума, разделяющих зерна, и пространственного каркаса, образованного зернами щебня и способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения протяженности плоскостей скольжения и их шероховатости.

По мере повышения содержания щебня выше оптимального предела прочность асфальтобетона уменьшается. Оптимальное содержание щебня непостоянно, оно зависит от вида применяемого щебня, природы вяжущего, условий приготовления смеси и ее уплотнения.

Асфальтобетон, применяемый для дорожного строительства, в зависимости от условий работы в конструкции может быть назначен с базальной, поровой или контактной макроструктурой. При этом необходимо выбирать строго соответствующую данной структуре структуру асфальтового раствора и асфальтовяжущего.

Широкоприменяющиеся асфальтобетоны с базальной макроструктурой характеризуются малым содержанием щебня и прочность их обуславливается свойствами растворной части и асфальтовяжущего. Прочность же асфальтобетона с поровой и контактной макроструктурой определяется прежде всего прочностью щебня.

Наиболее высокие показатели прочности асфальтобетона с базальной макроструктурой (щебня до 35%) достигаются при содержании асфальтовяжущего с отношением минерального порошка к битуму $\frac{МП}{Б} = 2,00 - 1,65$, с поровой макроструктурой (щебня 35—55%) — при асфальтовяжущем с отношением $\frac{МП}{Б} = 1,65 - 1,10$ с контактной макроструктурой (щебня до 65%) — при $\frac{МП}{Б} = 1,1 - 0,9$.

Существует зависимость, согласно которой тип структуры асфальтобетона определяется вязкостью битума. В соответствии с данными, приведенными на рис. 161, структурообразующая концентрация минерального порошка в битуме обратно пропорциональна вязкости последнего. Отношение $\frac{МП}{Б}$ для асфальтобетона, приготовленного на битуме МГ-130/200, максимально и снижается по мере повышения вязкости битума. Такой переход связан с недостаточной насыщенностью жидких битумов асфальтенами, при этом зерна минерального порошка являются центрами структурообразования и способствуют упрочению структуры и ее стабилизации. Переход жидких битумов в структурированное состояние сопровождается возникновением коагуляционных контактов, а при значительном насыщении битума минеральным порошком — резким упрочнением системы и формированием вторичной коагуляционной структуры.

Тип и свойства вяжущего определяют не только микроструктуру асфальтобетона, но тесно увязываются со свойствами макроструктуры. С уменьшением вязкости применяемого битума закономерно снижается оптимальное содержание щебня (табл. 87) и происходит переход от контактно-поровой макроструктуры к поровой, а затем к базальной.

Асфальтобетон на битуме БНД-40/60 достигает наибольшей прочности при содержании щебня 50%, а на битуме БНД-130/200 — 40% щебня.

Взаимосвязь между предельной крупностью

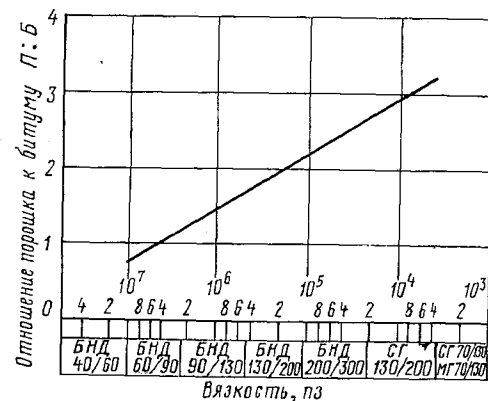


Рис. 161. График выбора отношения МП:Б в зависимости от вязкости битума

Асфальтбетон	Марка битума	Оптимальное содержание щебня, %	Тип макроструктуры
Горячий	БНД-40/60 БНД-90/130	55 45	Контактно-поровая Поровая
Теплый	БНД-130/200 БНД-200/300 СГ-130/200	40 35 30	Порово-базальная Базальная »
Холодный	СГ-70/130	25	Базальная

Таблица 88

Предельная крупность зерен в смеси, мм	Содержание минерального порошка (зерен < 0,071 мм), %	
	Горячий асфальтобетон	Теплый асфальтобетон
35	4	5
25	6	8
15	8	10
10	9	12
5	12	15
3	14	18

зерен смеси, вязкостью битума и количеством минерального порошка имеет следующие закономерности (табл. 88). Требуемое количество минерального порошка возрастает с уменьшением предельной крупности зерен. Для приготовления теплых асфальтобетонных смесей требуется больше минерального порошка, чем для горячих.

Понижение вязкости битума вызывает необходимость уменьшения содержания макрострук-

турных элементов и увеличения содержания асфальтового раствора.

§ 93. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Асфальтобетон, обладающий обратимыми микроструктурными связями, в зависимости от температуры может находиться в следующих структурных состояниях: упруго-хрупком, при котором минеральный остов асфальтобетона строго фиксирован застеклованными прослойками битума; упруго-пластичном, когда зерна минерального остова соединены между собой прослойками битума, которые проявляют при напряжениях, не превышающих предел текучести, упругие и эластические свойства, а при больших напряжениях — упруго-вязкие свойства; вязко-пластичном, при котором зерна минерального остова соединены полужидкими прослойками битума. Небольшое по величине напряжение приводит к течению материала.

Кроме температурных факторов, асфальтобетон подвергается воздействию атмосферных и талых вод, вода проникает в поры асфальтобетона и ослабляет взаимную связь минеральных мате-

риалов с пленкой вяжущего. Поэтому оценку прочности асфальтобетона дают при следующих критических условиях:

максимальной для данной местности температуре асфальтобетонного покрытия, когда когезия вяжущего минимальна;

минимальной температуре, когда прочность достаточна, так как когезия вяжущего достигает наибольших значений, но нарушение однородности структуры, особенно при повторных замораживаниях, и минимальные удлинения способствуют образованию трещин, а в отдельных случаях и выкрашиванию покрытия;

некоторых средних температурах, когда наиболее вероятно водонасыщение асфальтобетона и снижение прилипания вяжущего к минеральным материалам, которое может привести к быстрому износу и хрупкому разрушению покрытия.

Прочность асфальтобетона. Прочность указывает границы допустимых напряжений, возникающих в процессе эксплуатации. Поверхность разрыва при разрушении асфальтобетона практически всегда проходит по битуму, следовательно, теоретическая предельная прочность асфальтобетона определяется прочностью битумной пленки. Прочность определяют величиной предельного напряжения, при котором происходит разрушение асфальтобетона.

Разрушение асфальтобетона под действием приложенного напряжения представляет собой кинетический процесс, развивающийся во времени. Чем больше величина действующих напряжений, тем быстрее протекает процесс разрушения. Таким образом, механические свойства асфальтобетона характеризуются двумя показателями: разрушающим напряжением и величиной длительной прочности (время, в течение которого асфальтобетон выдерживает заданное напряжение без разрушения).

Зависимость значений разрушающего напряжения от длительности пребывания материала в напряженном состоянии обусловлена процессом усталости. Усталость характеризует постепенное снижение работоспособности асфальтобетона при длительно действующих или многократно повторяющихся нагрузках. Статическая усталость проявляется в снижении долговечности материала при увеличении значений постоянно действующего напряжения. Динамическую усталость при многократных циклически действующих нагрузках характеризуют числом циклов, которое выдерживает асфальтобетон до разрушения.

Основным требованием, которому должен удовлетворять асфальтобетон, работающий в условиях повышенных положительных температур, является требование к его сдвигоустойчивости. Прочность при сдвиге асфальтобетона при повышенных температурах может быть охарактеризована уравнением Дерягина:

$$\tau = \mu (N + N_0),$$

где τ — прочность при сдвиге, кгс/см²; $\mu = \operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения; N — нормальная нагрузка, кгс/см²; $N_0 = P_0 S_0$ — равнодействующая сил молекулярного притяжения; P_0 — сила мо-

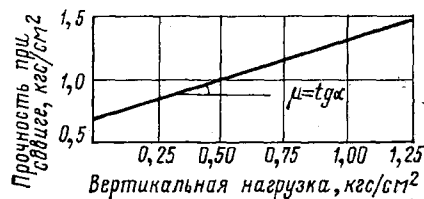


Рис. 162. Изменение прочности при сдвиге асфальтобетона при различной вертикальной нагрузке

лекулярного притяжения на единицу площади; S_0 — площадь действительного контакта между частицами, величина которой возрастает с увеличением N .

Так как минеральные зерна асфальтобетона покрыты битумными пленками, то прочность при сдвиге определяется прежде всего трением в пленках. Только после предварительного сдвига в работу вступает минеральный каркас, образующий грубую шероховатость поверхности. Роль макронеровностей при большой степени насыщения смеси структурообразующими частицами сказывается на увеличении общей поверхности скольжения, что приводит к увеличению силы сдвига. Таким образом, прочность при сдвиге асфальтобетона определяется внутренним трением, зависящим, в первую очередь, от характера молекулярной шероховатости пленок, покрывающих минеральные зерна, вязкости этих пленок, степени грубой шероховатости, выражающейся в образовании волновой поверхности скольжения и увеличивающей силу, которую необходимо приложить для сдвига поверхностей; прочностью асфальтобетона на разрыв, характеризующуюся когезионными свойствами вяжущего.

Одним из вариантов испытания на сдвиг является определение деформативных и прочностных характеристик материала при кручении. В ХАДИ сконструирована установка для испытания асфальтобетона на сдвиг при кручении, принцип действия которой заключается в том, что к асфальтобетонному образцу, закрепленному в станине прибора, сообщается крутящий момент. Прочность при сдвиге определяется как отношение крутящего момента к моменту сопротивления.

По показателям прочности при сдвиге при различных вертикальных нагрузках строят график (рис. 162) и по углу наклона прямых определяют коэффициент внутреннего трения μ . Величину сцепления N_0 определяют как частное от деления прочности на сдвиг τ на величину коэффициента внутреннего трения μ .

Влияние количества щебня в асфальтобетоне на прочность при сдвиге и показатели внутреннего трения и сцепления могут быть охарактеризованы данными В. А. Золотарева, приведенными в табл. 89.

По мере насыщения асфальтового раствора щебнем (до 20%) прочность при сдвиге понижается. Дальнейшее насыщение смеси щебнем сопровождается увеличением шероховатости плоскостей скольжения, формированием пространственного каркаса, вследствие чего прочность при сдвиге возрастает. При определенной концентрации щебня формируется оптимальная структура. В точке, где

Таблица 89

Максимальная крупность щебня в смеси, мм	Содержание щебня в смеси, %	Прочность при сдвиге без учета вертикальной нагрузки при +50° С, кгс/см²	Прочность при сдвиге с вертикальной нагрузкой 3 кгс/см² при 50° С, кгс/см²	Коэффициент внутреннего трения μ	Сцепление N_0
10	30	1,29	2,32	0,34	3,8
	40	1,60	2,96	0,46	3,5
	50	1,36	2,88	0,50	2,7
	60	1,20	2,52	0,44	2,7
	70	0,95	1,75	0,27	3,5
15	30	1,50	2,7	0,40	3,7
	40	1,70	3,1	0,46	3,7
	50	1,56	3,2	0,53	2,9
	60	1,25	2,7	0,45	2,8
	70	1,15	2,3	0,37	3,1

прочность при сдвиге достигает максимума, наблюдается наиболее выгодное расположение и взаимодействие всех компонентов материала. Вязкость пленок еще достаточно высока и трение в них достаточно велико, а шероховатость поверхностей скольжения способствует увеличению трения.

При насыщении смеси щебнем выше оптимального предела отдельные его зерна, создающие жесткий каркас, обволакиваются пленками битума, прочность и вязкость которых гораздо ниже, чем в смесях без щебня. После превышения оптимума нарушается равновесие между влиянием каркаса и пленок битума, причем влияние последних является определяющим. Увеличение внутреннего трения за счет повышения содержания щебня не дает ожидаемого роста сдвигоустойчивости, так как трение внутри пленок резко падает.

Прочность асфальтобетона в значительной мере зависит от скорости приложения и времени действия нагрузки. С увеличением скорости приложения нагрузки увеличивается и прочность при сдвиге. При этом увеличивается величина когезии битумной пленки. Повышение скорости сдвига приводит к увеличению внутреннего трения за счет увеличения прочности пленок, остающихся до определенной скорости материалом, поведение которого определяется вязкими свойствами.

Для характеристики пластичности асфальтобетона при положительных температурах, когда возможно возникновение деформаций покрытий (волны, наплывы и пр.), может служить показатель пластичности, впервые полученный Н. Н. Ивановым на основе анализа результатов испытаний на сжатие при разных скоростях деформирования:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^K,$$

где R_1 и R_2 — предел прочности при сжатии; v_1 и v_2 — скорость деформирования, обычно 3 мм/мин и 30 мм/мин;

$$K = \frac{\lg \frac{R_1}{R_2}}{\lg \frac{v_1}{v_2}}$$

Асфальтобетон считают непластичным, если K при $+50^\circ\text{C}$ имеет величину не более 0,10, нормальной пластичности при $K=0,15—0,24$, и смеси считают пластичными, если K более 0,25.

Прочность асфальтобетона оценивают по испытанию цилиндрических образцов на сжатие при температуре $+50$, $+20$ и 0°C при скорости деформирования 3 мм/мин.

Если при температуре $+50^\circ\text{C}$ ограничивается нижний предел прочности ($10—12$ кгс/см²), то при температуре 0°C ограничивается верхний предел прочности (не более 120 кгс/см²). Показатель прочности при сжатии при $+50^\circ\text{C}$ характеризует сдвигоустойчивость асфальтобетона при высокой температуре и сопротивляемость материала образованию пластических деформаций в покрытии. Показатель прочности при 0°C косвенно характеризует трещиностойкость асфальтобетона при низкой температуре.

Прочность асфальтобетона при растяжении определяют непосредственным растяжением образца, имеющего форму восьмерки, и более простым «бразильским» методом, не требующим специального приготвления образцов сложной формы. Цилиндрический образец асфальтобетона диаметром D и высотой H подвергают сжатию по образующей. Прочность при растяжении R_p по этому методу определяют по следующей формуле:

$$R_p = \alpha \frac{P}{DH}$$

где P — разрушающее усилие, кгс; D и H — диаметр и высота образца, см; α — коэффициент, который для асфальтобетона, как пластичного тела, может быть принят равным единице (для хрупких тел — 0,63).

Сравнение показателей прочности при сжатии и растяжении асфальтобетонных образцов, приготовленных на битумах различной вязкости и при разных температурах, приведено в табл. 90.

Таблица 90

Марка битума	Температура испытания, $^\circ\text{C}$							
	$+50$		$+20$		0		-20	
	$R_{сж}$	R_p	$R_{сж}$	R_p	$R_{сж}$	R_p	$R_{сж}$	R_p
БНД-90/130	14,0	1,5	63,5	120,0	152	50	280	74
БНД-130/200	11,5	1,1	28,0	5,3	84	35	200	69
БНД-200/300	8,5	0,8	21,0	3,6	45	15	160	55

С понижением температуры происходит приращение прочности, что связано со структурными изменениями в битумной пленке (рис. 163). Участок стабилизации прочности асфальтобетона характеризует переход битумной пленки в хрупкое состояние. Этот участок взаимосвязан с вязкостью применяемого битума. В асфальтобетоне на битуме БНД-40/60 участок стабилизации прочности при растяжении достигается при минус 10°C , а в асфальтобетоне на БНД-130/200 при минус 20°C . Асфальтобетон с более низкой критической температурой, естественно, более пластичен в диапазоне низких температур.

Основным критерием прочности асфальтобетона при низких температурах являются его деформативные свойства, характеризующие устойчивость против образования трещин. Для оценки обычно используют величину предельной относительной деформации в момент разрушения. Если деформирование чисто упругое, то критическая относительная деформация не превышает 0,001. По мере повышения температуры критическое относительное удлинение увеличивается (рис. 164).

Проф. Н. Н. Иванов считает, что покрытие будет устойчивым против образования трещин, если асфальтобетон обладает относительным удлинением при 0°C не менее 0,004—0,008, а при минус 20°C не менее 0,001—0,002 (при скорости деформации, близкой к 5×10^{-6} мм/мин).

Реологические¹ свойства асфальтобетона. Показатели прочности асфальтобетона не позволяют полностью характеризовать работу материала в покрытии, так как при нагружении в нем возникают не только обратимые, но и необратимые деформации, величина которых связана с уровнем напряжения, временем действия напряжения и скоростью деформации. Изучением поведения материалов под действием приложенных нагрузок занимается реология — раздел механики, тесно примыкающий к физике и охватывающий вопросы деформирования разнообразных материалов от твердых тел до жидкостей.

Существуют различные подходы к изучению реологии асфальтобетона: теоретические преследуют цель разработки математической модели, описывающей поведение материала; практические объясняют особенности поведения материала при реформировании исходя из особенностей его структуры и состава. Эти подходы позво-

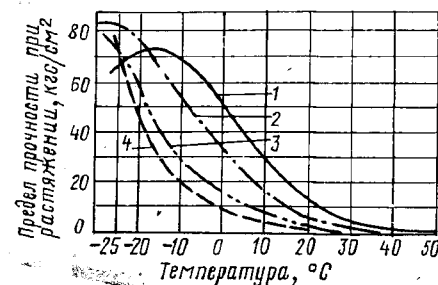


Рис. 163. Зависимость прочности при растяжении асфальтобетона от температуры:

1 — БНД-90/130; 2 — БНД-130/200; 3 — БНД-200/300; 4 — БНД-130/200

¹ Реология (от греческого слова «рео» — течь) — наука о деформативных свойствах материалов.

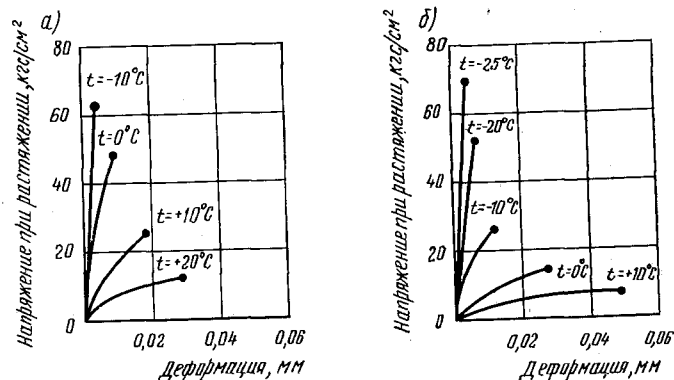


Рис. 164. Диаграмма напряжения при растяжении асфальтобетона:
а — горячего; б — теплого

ляют определить упругость, вязкость, пластичность материала, а также установить соотношение между ними.

При эксплуатации асфальтобетонного покрытия могут быть следующие режимы нагружения: постоянная нагрузка, равномерно возрастающая нагрузка, деформирование с постоянной скоростью. Определение изменения свойств асфальтобетона за длительный период производят испытанием на ползучесть.

Ползучесть и упруго-вязкие свойства асфальтобетона. Испытание асфальтобетона на ползучесть позволяет установить изменение деформации во времени. Ползучесть — процесс малой непрерывной пластической деформации, протекающей в материалах в условиях длительной статической нагрузки. Основное содержание испытания на ползучесть заключается в следующем. К образцу, имеющему форму цилиндра или балочки, прикладывают постоянную нагрузку. Нагрузку подбирают таким образом, чтобы проследить работу материала в упругой (линейной) и неупругой (нелинейной) области.

На рис. 165, изображающем кривые ползучести, кривая 1 характеризует работу материала в упругой стадии, т. е. деформация полностью обратима после разгрузки; кривая 2 показывает наличие остаточной деформации. Кривая роста упругих деформаций состоит из двух частей, в первой части деформации развиваются по закону пропорциональности между величиной мгновенной упругой деформации и напряжением, во второй части кривая деформации развивается во времени по экспоненциальной зависимости. Мгновенная упругая деформация, достигнув постоянного значения, остается постоянной весь период времени действия нагрузки. Упругая деформация, развивающаяся во времени при постоянно действующем напряжении, растет во времени с уменьшающейся скоростью, асимптотически приближаясь к постоянному значению в течение неограниченно большого времени.

Горячий асфальтобетон при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ при напряжениях, не превышающих $0,02\sigma_{\text{разр}}$, работает в упругой стадии; при

напряжениях до $0,3\sigma_{\text{разр}}$ — в упруго-вязкой стадии, в этот период в асфальтобетоне накапливаются остаточные деформации; при напряжениях больше $0,3—0,4\sigma_{\text{разр}}$ деформация асфальтобетона возрастает и приводит через 5—10 мин к разрушению.

Кривые ползучести, построенные в логарифмическом масштабе, дают прямолинейную зависимость деформации от времени приложения нагрузки (рис. 166), что позволяет определить степень пластичности асфальтобетона по углу наклона линии к оси времени. Степень пластичности $P = \text{tg} \alpha$ горячего асфальтобетона при $+20^{\circ}\text{C}$ находится в пределах $0,4—0,6$. Чем ниже величина степени пластичности, тем в большей мере асфальтобетон приближается к упругому телу ($P=0$).

При сжатии цилиндрических образцов постоянной нагрузкой величина модуля упругости рассчитывается по зависимости:

$$E_y = \frac{\sigma H}{S_y},$$

где σ — нагрузка, кгс/см^2 ; H — высота образца, см ; S_y — упругая деформация образца.

При определении модуля деформации в формуле вместо упругой деформации образца принимают полную деформацию. Для образцов-оболочек с нагрузкой в середине пролета модуль упругости равен:

$$E_y = \frac{\sigma l^3}{48JS_y},$$

где S_y — упругий прогиб балочки, см ; J — момент сопротивления.

Асфальтовяжущее вещество с оптимальным содержанием битума обладает наибольшим модулем упругости (рис. 167). Насыщение асфальтовяжущего мелким песком приводит к снижению модуля упругости, но введение в асфальтовый раствор зерен крупнее 1,25 мм приводит к новым качественным изменениям. Значение модуля упругости возрастает, так как часть нагрузки воспринимается минеральным остовом. Наибольшие значения модуля упругости у асфальтобетона на битуме БНД-40/60 при крупности зерен 20 мм, а у асфальтобетона на битуме БНД-130/200 при крупности 10 мм.

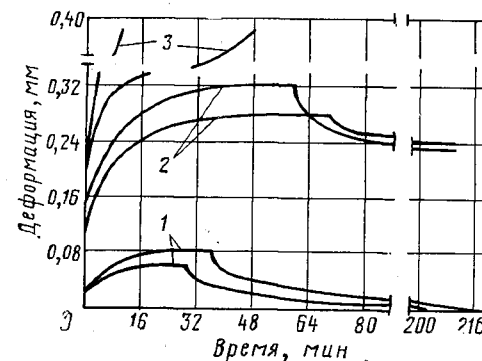


Рис. 165. Развитие деформаций в асфальтобетоне при напряжениях:

- 1 — $0,010—0,015 \sigma_{\text{разр}}$;
- 2 — $0,03—0,06 \sigma_{\text{разр}}$;
- 3 — $0,25—0,30 \sigma_{\text{разр}}$

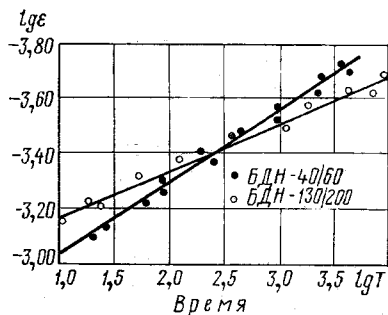


Рис. 166. Зависимость ползучести асфальтобетона от вязкости битума

Коэффициент вязкости асфальтобетона, характеризующий величину сопротивления материала, пропорциональную скорости деформирования, под действием постоянной нагрузки в начальный момент возрастает, а затем падает (рис. 168). Повышение коэффициента вязкости может быть объяснено следующим. Под нагрузкой происходит выжимание битума из зон контакта в межзерновое пространство, битумная пленка утончается, вязкость системы повышается. В дальнейшем в системе под нагрузкой происходят структурные изменения, зерна смещаются относительно друг друга, вязкость системы понижается. Снижение вязкости битума приводит к закономерному падению коэффициента вязкости асфальтобетона.

Релаксация напряжений — процесс уменьшения напряжений в материале, величина деформации в котором поддерживается постоянной. Процесс релаксации заключается в «перерождении» упругой деформации в пластичную.

Релаксация напряжений в асфальтобетоне связана с наличием битума, обладающего гораздо меньшей прочностью и вязкостью, чем минеральные материалы. Температура и вязкость битума оказывают влияние на характер релаксации напряжений в асфальтобетоне. С понижением температуры различие в релаксационных процессах уменьшается, с повышением релаксационная способность материала увеличивается. Напряжения в асфальтобетоне при постоянной деформации делят на релаксирующие и нерелаксирующие:

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_k,$$

где σ — общие напряжения; σ_t — релаксирующая часть напряжений; σ_k — нерелаксирующая часть напряжений.

Релаксирующая часть напряжений описывается следующей экспоненциальной зависимостью:

$$\sigma_t = \sigma_0 e^{-kt},$$

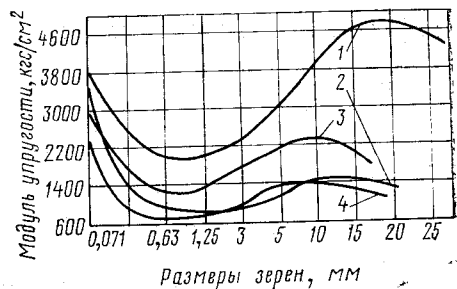


Рис. 167. Изменение модуля упругости асфальтобетона от вязкости битума:

1 — БНД-40/60; 2 — БНД-90/130;
3 — БНД-130/200; 4 — БНД-200/300

где σ_0 — величина релаксирующей части напряжений в начальный момент времени; t — время; k — постоянная.

Релаксирующая часть напряжений взаимосвязана с типом структуры асфальтовой системы. Асфальтовяжущее вещество в меньшей мере релаксирует напряжение, чем асфальтобетон. Это объясняется тем, что на крупных частицах толщина битумной пленки больше, чем на мелких.

На характер релаксации в значительной степени влияет начальное напряжение, сообщаемое материалу. При высоком начальном напряжении процесс релаксации протекает интенсивно, в материале остается мало неотрелаксированных напряжений, что объясняется облегчением пластического течения по релаксационным плоскостям.

Релаксационные процессы в асфальтобетоне зависят от скорости деформации (нагружения). Процесс нагружения рассматриваем как совокупность двух одновременно протекающих процессов — роста напряжений и их релаксации, поэтому чем медленнее растет нагрузка, тем большая часть напряжений успевает отрелаксировать в процессе нагружения.

При высоких положительных температурах интенсивность снижения напряжений служит показателем деформационной устойчивости асфальтобетона, а при низких отрицательных — показателем трещиностойчивости.

Для удовлетворительной работы асфальтобетона в покрытии при высоких положительных температурах необходимо, чтобы релаксация напряжений протекала медленно. При низких отрицательных температурах возникновение трещин можно предупредить в том случае, если напряжения будут быстро рассасываться.

В релаксационном процессе асфальтобетона Л. Б. Гезенцеем и Э. А. Казарновской выделены два периода, которым соответствуют два участка релаксационной кривой. Первый период характеризуется быстрым падением напряжений и уменьшающейся скоростью

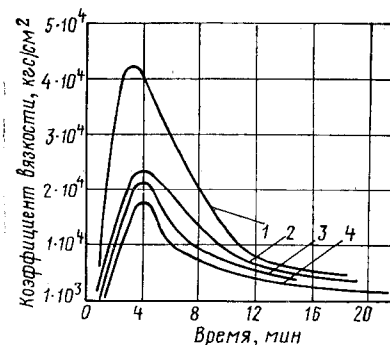


Рис. 168. Изменение вязкости асфальтобетона в процессе нагружения в зоне стационарного течения:
1 — БНД-40/60; 2 — БНД-90/130;
3 — БНД-130/200; 4 — БНД-200/300

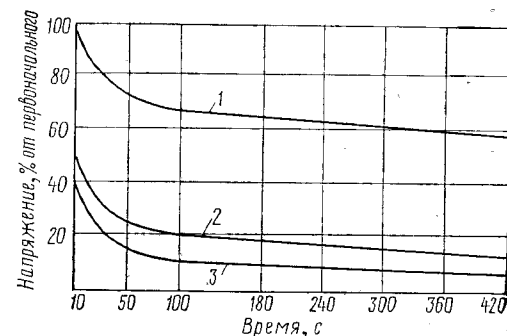


Рис. 169. Влияние содержания битума на релаксацию напряжения в асфальтовяжущем (данные Э. А. Казарновской):
1 — битума в смеси 15%; 2 — 20%; 3 — 25%

релаксации. Для второго периода характерно медленное, почти затухающее падение напряжения. Изменение содержания битума приводит к резкому изменению релаксационной способности асфальтовых материалов. Это наиболее рельефно прослеживается при испытании образцов из асфальтовяжущего, содержащего различное количество битума. Как видно из приведенных данных (рис. 169), испытания на релаксацию напряжений очень чувствительны к содержанию битума в смеси. Избыток битума приводит к раздвижке минеральных зерен. Снижается вязкость битума на плоскостях скольжения, ускоряется переход в новое равновесное состояние. Естественно, что смеси с содержанием битума ниже нормы мало релаксируют напряжения. Это может быть объяснено наличием не только коагуляционных, но и конденсационных контактов между минеральными зернами.

Характер релаксации напряжений в асфальтовых системах позволил сделать вывод, что релаксационная способность материала взаимосвязана с вязкостью битума и крупностью минеральных зерен (табл. 91). При температуре испытания 0°С горячий асфальтобетон практически не релаксирует напряжения, так как при этой температуре асфальтобетон настолько приближается к упругим телам, что релаксация, происходящая за счет вязкого течения, практически отсутствует. При температуре +50°С доля отрелаксированных напряжений наибольшая, что вполне закономерно, так как вязкость системы снижается при повышении температуры.

Таблица 91

Марка битума	Температура испытания, °С	Падение напряжений, % от первоначального за 7 мин наблюдения				
		Асфальтовяжущее до 0,07 мм	Асфальтовый раствор		Асфальтобетон	
			до 0,63 мм	до 1,25 мм	до 5 мм	до 15 мм
БНД-40/60	0	12,0	16,0	0,4	0,4	4,4
	20	10,0	25,8	17,0	10,0	26,0
	35	15,0	26,9	—	—	26,6
	50	18,0	16,0	17,0	15,0	39,1
БНД-90/130	0	13,0	8,3	3,0	1,0	4,6
	20	11,2	23,7	16,0	15,0	28,4
	35	13,0	24,0	—	—	26,6
	50	12,6	29,0	14,0	14,0	29,1

Водостойкость и морозостойкость. Асфальтобетонные покрытия при длительном увлажнении вследствие ослабления структурных связей могут разрушаться за счет выкрашивания минеральных зерен, что приводит к повышенному износу покрытий и образованию

выбоин. Водостойкость асфальтобетона зависит от его плотности и устойчивости адгезионных связей. Вода как полярная жидкость хорошо смачивает все минеральные материалы, а это значит, что при длительном контакте минеральных зерен, обработанных битумом, возможна диффузия воды под битумную пленку. При этом минеральные материалы с положительным потенциалом заряда поверхности (кальцит, доломит, известняк) в большей степени препятствуют вытеснению битумной пленки водой, чем материалы с отрицательным потенциалом поверхности (кварц, гранит, андезит). Образование адсорбционного слоя воды понижает поверхностную энергию твердого тела, а следовательно, и работу образования новых поверхностей при деформации. Сорбированные молекулы воды легко мигрируют по поверхностям, вновь образующимся в деформируемом материале, что приводит к разрушению.

Вода, проникая в микродефекты структуры асфальтобетона, приводит к адсорбционному понижению прочности материала (эффект Ребиндера) за счет снижения поверхностной энергии стенок трещин и ослабления структурных связей у вершины трещины по мере ее развития. Закономерное снижение прочности асфальтобетона с увеличением срока выдерживания материала в воде объясняется постепенной диффузией воды внутрь материала и все увеличивающимся расклинивающим действием воды. Значительно разрушает структуру асфальтобетона его частое попеременное увлажнение и высыхание. Перемещаясь в порах, вода вызывает неравномерное распределение напряжений, что также способствует разрушению.

Пористость оказывает большое влияние на водостойкость асфальтобетона, обычно она составляет 3—7%. Поры в асфальтобетоне могут быть открытые замкнутые. Как правило, с уменьшением размера зерен в асфальтобетоне увеличивается количество замкнутых недоступных воде пор. Так, в крупнозернистом асфальтобетоне практически все поры открытые, а в мелкозернистом открытые поры составляют 30—40%.

Водостойкость определяется величиной водонасыщения, набухания и коэффициентом водостойкости K_v (отношение прочности водонасыщенных образцов к прочности сухих образцов). Коэффициент водоустойчивости должен быть не менее 0,9, а при длительном водонасыщении (14 сут) не менее 0,8.

Морозостойкость асфальтобетона связана в основном с количеством открытых пор и характером взаимодействия между битумом и минеральным материалом. Замерзая зимой в порах асфальтобетона, вода переходит в лед с увеличением в объеме на 8—9%, что создает в них давление свыше 2000 кг/см². Наиболее разрушительное действие оказывает происходящее весной и осенью попеременное замораживание и оттаивание асфальтобетона. Знакопеременные температуры приводят к возникновению трещин, развивающихся при многократных циклах замораживания — оттаивания.

Морозостойкость асфальтобетона обычно оценивается коэффициентом морозостойкости K_m , показывающим снижение прочности при растяжении (испытание на раскол) после определенного цикла

Таблица 92

Минеральный материал	Марка битума	Морозостойкость						
		Конт- рольные R_K^R	5 циклов		10 циклов		15 циклов	
			R_p	R_m	R_p	R_m	R_p	R_m
Гранит	БНД-40/60	5,12	4,94	0,96	3,36	0,65	1,06	0,23
Известняк		9,5	7,10	0,75	17,8	1,88	7,70	0,81
Гранит	БНД-90/130	4,38	3,36	0,77	3,74	0,85	0,84	0,19
Известняк		7,9	7,96	1,0	12,8	1,6	4,25	0,54
Гранит	БНД-130/200	1,72	2,03	1,15	1,08	0,63	0,33	0,19
Известняк		7,4	7,1	0,95	9,2	1,2	4,65	0,63

замораживания насыщенных водой образцов на воздухе при минус 15°С и оттаивания в воде при комнатной температуре. Количество циклов принимается не менее пяти.

Как видно из табл. 92, морозостойкость асфальтобетона на гранитном материале значительно ниже, чем на известняковом. В асфальтобетоне на гранитном материале структурные связи битум — материал разрушились в большей степени, чем на известняковом. Это объясняется тем, что природа сил связи битум — гранит физическая, в то время как связь битум — известняк физико-химическая. Напряжения, возникающие при замерзании воды, легко разрушают физические связи и не в состоянии разрушить химические.

Повысить водо- и морозостойкость можно выбором материалов надлежащего качества, тщательным подбором составляющих, применением поверхностноактивных веществ.

Износостойкость. Износ асфальтобетонного покрытия происходит под действием сил трения, вызываемых проскальзыванием колес автомобиля по поверхности покрытия и вакуумных сил, возникающих под движущимся автомобилем. Износ покрытия определяется: истиранием его структурных элементов; отрывом и уносом с его поверхности зерен песка и раздробленных щебенков.

Износостойкость асфальтобетона тем выше, чем больше его плотность, чем выше твердость входящих в его состав минеральных материалов и выше сцепление зерен щебня и песка с битумом. Асфальтобетоны, приготовленные на гранитном щебне (твердость по

шкале Мооса 6—7), более изнаноустойчивы, чем бетоны на известняковом щебне (твердость 4). Применение щебня, загрязненного глинистыми частицами, приводит к резкому снижению износостойкости за счет вырывания щебенков из поверхности покрытия. На покрытии в этом случае образуются оспины.

Износ покрытий из песчаного асфальтобетона прежде всего взаимосвязан с характером поверхности частиц, поэтому асфальтобетон на высевках изверженных горных пород всегда меньше изнашивается бетона на окатанном кварцевом песке. Истираемость асфальтобетонного покрытия при интенсивном автомобильном движении составляет 0,3—1,0 мм в год.

Износостойкость можно определять с помощью прибора ХАДИ (рис. 170). Образец асфальтобетона диаметром 50 и 70 мм укрепляют в обойме-держателе прибора. Вследствие вращения истирающего круга 5 (стального, с наклеенным слоем резины) и испытуемого образца 4 в противоположные стороны процесс испытания приближается к процессам, происходящим в покрытии под действием автомобилей. Потеря определяется по разнице массы образца до и после испытания. Зная потерю массы и объемную массу испытываемого образца, подсчитывают объем изнашиваемого материала.

Износостойкость асфальтобетона, изготовленного на различных материалах, приведена на рис. 171. Высокую износостойкость имеют асфальтобетоны, в состав которых входит щебень с наименьшей дробимостью при укатке. Износостойкость асфальтобетона, изготовленного на щебне из капиллярно-пористых известняков, повышается вследствие более прочного прилипания пленки битума к поверхности материала.

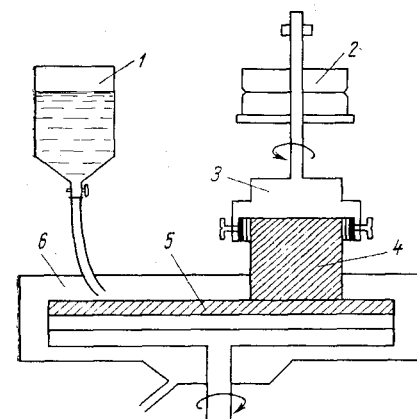


Рис. 170. Схема прибора для испытания асфальтобетона на износ:

1 — бак для воды; 2 — груз; 3 — обойма-держатель; 4 — образец асфальтобетона; 5 — резиновый диск; 6 — защитный кожух

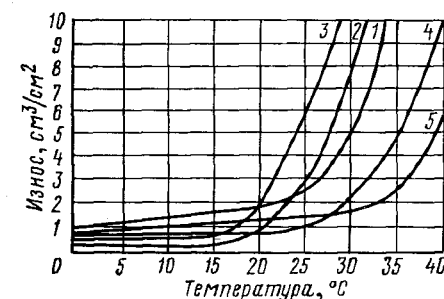


Рис. 171. Зависимость износостойкости асфальтобетона от температуры (по данным Н. Ф. Почалского):

1 — песчаный асфальтобетон; 2 — асфальтобетон на гранитном щебне; 3 — то же, на песчаниковом щебне; 4 — то же, на щебне из плотного известняка; 5 — то же, на щебне из пористого известняка

Асфальтобетон применяют для устройства покрытий на автомобильных дорогах I—III категорий, городских улицах и площадях. Показатели физико-механических свойств и структуры горячего асфальтобетона должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 93.

Расчет состава асфальтобетона заключается в выборе рационального соотношения между составляющими материалами, обеспечивающего оптимальную плотность минерального остова при требуемом количестве битума и получение бетона с заданными техническими свойствами при определенной технологии производства работ.

В настоящее время наиболее широкое распространение получил метод расчета по кривым плотных смесей. Наибольшая прочность бетона достигается при условии максимальной плотности минерального состава путем расчета гранулометрического состава и определения содержания оптимального количества битума и минерального порошка.

Расчет состава асфальтобетона по кривым плотных смесей ведут на основе задания, в котором должно быть указано назначение бетона и период строительства. Кроме того, необходимы данные о свойствах и стоимости исходных материалов.

Расчет состава асфальтобетона ведут по этапам: определяют качество исходных материалов и оценивают соответствие их свойств установленным требованиям. Если имеется несколько разновидностей материалов, выбирают лучшие из них для конкретных условий работы асфальтобетона: рассчитывают гранулометрический состав минеральной смеси по принципу минимума пустот; определяют оптимальное количество битума; определяют физико-механические свойства рассчитанных смесей; вносят коррективы в полученные составы смесей.

Основным показателем правильности расчета минеральной части является получение смеси с минимумом пустот. Как показали исследования профессоров В. В. Охотина и Н. Н. Иванова, между плотностью и гранулометрическим составом смеси имеется определенная зависимость. Оптимальными будут составы минеральных смесей, содержащие зерна различного размера, диаметры которых уменьшаются в 2 раза:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \frac{d_3}{d_4} \dots \frac{d_{m-1}}{d_m} = 2,$$

где d_1 — наибольший диаметр зерна минеральной смеси, устанавливается в зависимости от типа асфальтобетона; d_m — наименьший диаметр зерна, соответствует пылевой фракции минерального порошка (обычно 0,004—0,005 мм).

Показатели	Нормы на смеси для верхнего слоя		Нормы на смеси для нижнего слоя
	I марка	II марка	
Пористость минерального остова, % по объему для смесей типов:			16—22
А (многощебенистые, щебня 50—65%)	15—19	15—19	
Б (среднещебенистые, щебня 35—50%)	15—19	15—19	
В (малощебенистые, щебня 20—35%)	18—22	18—22	
Г (песчаные из дробленого песка с содержанием фракции 1,25—5 мм не менее 33%)	—	18—22	
Д (песчаные из природного песка)	—	22	
Остаточная пористость, % по объему	3—5	3—5	5—10
Водонасыщение, % по объему для смесей типов:			3—8
А	2—5	2—5	
Б и Г	2,0—3,5	2,0—3,5	
В и Д	1,5—3,0	1,5—3,0	
Набухание, % по объему, не более	0,5	1,0	1,5
Предел прочности при сжатии, кгс/см ² , при температурах:			
а) +20° С, не менее			
б) +50° С, не менее			
для смесей типов:			
А	9	8	—
Б и В	10	9	—
Г и Д	—	12	—
в) при температуре 0° С, не менее	120	120	—
Коэффициент водостойкости, не менее	0,90	0,85	—
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее	0,80	0,75	—

Примечание. Показатели физико-механических свойств асфальтобетонных смесей определяют на цилиндрических образцах, приготовленных: из смесей типов А и Б — комбинированным уплотнением вибрацией с пригрузкой 0,25—0,30 кгс/см² в течение 180 с при частоте 3000 кол/мин, амплитуде 0,35—0,40 мм, а затем доуплотнением на прессе под нагрузкой 200 кгс/см²; из смесей типов В, Г, Д — уплотнением нагрузкой 400 кгс/см².

Размеры зерен согласно предыдущему уравнению равны:

$$d_2 = \frac{d_1}{2}; d_3 = \frac{d_1}{2^2}; d_m = \frac{d_1}{2^{m-1}},$$

$$\text{откуда } m = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2} + 1.$$

Число фракций n на единицу меньше числа размеров m :

$$n = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2}.$$

Массовое соотношение соседних фракций должно быть равно:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{y_3}{y_2} = \frac{y_4}{y_3} \dots \frac{y_n}{y_{n-1}} = 0,8.$$

Величина, которая показывает, во сколько раз количество последующей фракции меньше предыдущей, называется *коэффициентом сбега* K . При коэффициенте сбега 0,8 смесь получается с наибольшей плотностью. Однако вследствие того, что рассчитать минеральную смесь на материалах по коэффициенту сбега 0,8 трудно, проф. Н. Н. Иванов предложил принимать коэффициент сбега в пределах от 0,7 до 0,9, при которых практически смеси получаются достаточно плотные. Зная размеры фракций, их количество и принятый коэффициент сбега (например, $K=0,7$), составляют уравнения такого вида:

Фракции	Массовое количество
q_1	y_1
q_2	$y_2 = y_1 K$
q_3	$y_3 = y_2 K = y_1 K^2$
q_4	$y_4 = y_3 K = y_1 K^3$
q_n	$y_n = y_{n-1} K = y_1 K^{n-1}$

Сумма весового количества всех фракций равна 100%, т. е.

$$y_1 + y_1 K + y_1 K^2 + y_1 K^3 + \dots + y_1 K^{n-1} = 100,$$

$$\text{или } y_1 (1 + K + K^2 + K^3 + \dots + K^{n-1}) = 100.$$

В скобках указана сумма геометрической прогрессии и, следовательно, количество первой фракции в смеси

$$q_1 = \frac{1 - K}{1 - K^n} 100.$$

Аналогично определяем процентное содержание первой фракции y_1 для коэффициента сбега $K=0,9$. Зная количество первой фракции y_1 , легко определить y_2, y_3 .

На основании полученных данных можно построить предельные кривые, соответствующие выбранным коэффициентам сбега (рис. 172). Кривые с коэффициентом сбега меньше 0,7 относят к составам минеральной части асфальтобетонной смеси с незначительным

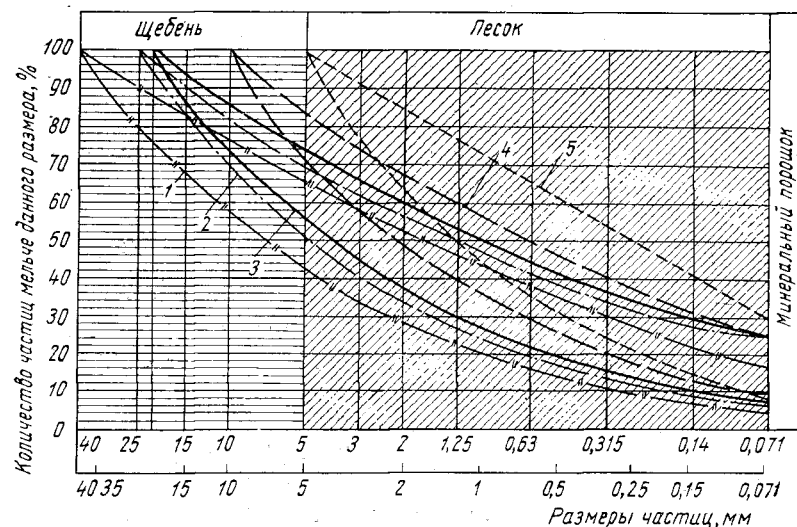


Рис. 172. График зернового состава смесей с непрерывной гранулометрией: 1 — крупнозернистые; 2, 3 — среднезернистые; 4 — мелкозернистые; 5 — песчаные

содержанием минерального порошка. Составы, рассчитанные по коэффициенту сбега 0,9, содержат повышенное количество минерального порошка. Кривая гранулометрического состава конкретной рассчитываемой смеси должна располагаться между предельными кривыми.

Исследования, выполненные в Союздорнии, показали, что высокие эксплуатационные показатели дают смеси с повышенным содержанием щебня и уменьшенным содержанием минерального порошка. Поэтому нормативные документы рекомендуют составы, вписывающиеся между предельными кривыми с коэффициентами сбега 0,65—0,80, при этом пористость минерального остова должна соответствовать установленным требованиям (см. табл. 93).

В случае невозможности расчета плотной минеральной смеси по предельным кривым (при отсутствии крупнозернистых песков и невозможности обогащения мелких песков высевами) необходимая плотность может быть подобрана по принципу прерывистой гранулометрии.

Как показали исследования, выполненные Н. В. Горелышевым и Н. М. Авласовой, прерывистая гранулометрия приводит к получению жесткого каркаса за счет меньшей раздвижки крупных зерен более мелкими. Асфальтобетонные смеси с прерывистой гранулометрией более сдвигустойчивы, чем смеси с непрерывным гранулометрическим составом. Составы минеральной части асфальтобетонной смеси с прерывистой гранулометрией, в которой нет фракции 5—0,63 мм, приведены в табл. 94.

При использовании материалов, различающихся между собой по плотности на величину более 0,20 г/см³, необходимо вносить поправки в соотношения минеральных компонентов, увеличивая количество более тяжелых и уменьшая количество более легких на частное от давления $\frac{\gamma_1}{\gamma_0}$ (где γ_0 — плотность минеральных материалов, массовое количество которых преобладает в смеси; γ_1 — плотность минерального материала, отличающаяся от γ_0 на 0,20 г/см³ и более).

На следующем этапе расчета состава асфальтобетона определяют оптимальное содержание битума. Существует несколько методов определения содержания битума в асфальтобетоне, но наиболее широкое применение нашел метод, основанный на расчете количества битума по пустотности минерального остова и заданной пористости асфальтобетона.

Перспективным является расчет количества битума в смеси по методу, разработанному ХАДИ, основанному на битумоемкости минеральных компонентов.

Для определения содержания битума по первому методу формулируют пробные образцы из смеси с заведомо малым содержанием битума, затем определяют объем пустот Π_0 в минеральном остове по формуле

$$\Pi_0 = \left(1 - \frac{100 \gamma}{(100 + B_{\text{пр}})d_m}\right) 100,$$

где γ — объемная масса асфальтобетонного образца; d_m — средняя плотность минеральных материалов, определяемая по следующей формуле

$$d_m = \frac{100}{\frac{y_1}{d_1} + \frac{y_2}{d_2} + \frac{y_3}{d_3} + \frac{y_4}{d_4}},$$

где y_1, y_2, y_3, y_4 — содержание различных минеральных материалов, % по массе; d_1, d_2, d_3, d_4 — плотности щебня, высевок, песка, минерального порошка.

Расчетная формула для определения оптимального содержания битума в этом случае будет иметь вид:

$$B = \Pi_0 \varphi d_6 \frac{100 + B_{\text{пр}}}{100 \gamma},$$

где d_6 — плотность битума; φ — коэффициент заполнения пустот минеральной смеси битумом, зависящий от заданной остаточной пористости;

$$\varphi = \frac{\Pi_0 - \Pi}{\Pi_0}.$$

Таблица 94

Тип смеси	Содержание зерен минерального материала, %, мельче данного размера, мм												Примерный расход битума, % по массе (сверх 100%)	
	40	25	20	15	10	5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071		
	Смеси непрерывной granulометрии													
I. Для верхнего слоя покрытий Среднезернистые типов:	A	—	—	95—100	78—85	60—70	35—50	26—40	17—28	12—20	9—15	6—10	4—8	5,0—6,5
	B	—	—	95—100	85—91	70—80	50—65	40—55	28—39	20—29	14—22	9—15	6—10	5,0—6,5
	B	—	—	95—100	91—96	81—90	65—80	55—70	39—53	29—40	20—28	12—19	8—12	6,5—7,0
Мелкозернистые типов:	A	—	—	—	95—100	63—75	35—50	26—40	17—28	12—20	9—15	6—10	4—8	5,0—6,5
	A	—	—	—	—	95—100	35—50	26—40	17—28	12—20	9—15	6—10	4—8	5,0—6,5
	B	—	—	—	95—100	75—85	50—65	40—55	29—39	20—29	14—22	9—15	6—10	5,5—7,0
Песчаные типов:	B	—	—	—	—	95—100	50—65	40—55	28—39	20—29	14—22	9—15	6—10	5,5—7,0
	B	—	—	—	95—100	85—93	65—80	57—70	39—53	29—40	20—28	12—19	8—12	6,0—7,5
	B	—	—	—	—	95—100	65—80	57—70	39—53	29—40	20—28	12—19	8—12	6,0—7,5
Г	—	—	—	—	—	95—100	95—100	75—88	45—67	28—60	18—35	11—23	8—14	7,5—9,0
	Д	—	—	—	—	—	95—100	80—95	53—86	37—75	27—55	17—33	10—16	7,0—9,0

Тип смеси	Содержание зерен минерального материала, %, мельче данного размера, мм												Примерный расход битума, % по массе (сверх 100%)
	40	25	20	15	10	5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Смеси прерывистой гранулометрии													
Среднезернистые типов:													
А	—	—	95—100	78—85	60—70	35—50	35—50	35—50	35—50	17—28	8—14	4—8	5,0—6,5
Б	—	—	95—100	85—91	70—80	50—65	50—65	50—65	50—65	28—40	14—22	6—10	5,0—6,5
Мелкозернистые типов:													
А	—	—	—	95—100	63—75	35—50	35—50	35—50	35—50	17—28	8—14	4—8	5,0—6,5
А	—	—	—	—	95—100	35—50	35—50	35—50	35—50	17—28	8—14	4—8	5,0—6,5
Б	—	—	—	95—100	75—80	50—65	50—65	50—65	50—65	28—40	14—22	6—10	5,5—7,0
Б	—	—	—	—	95—100	50—65	50—65	50—65	50—65	28—40	14—22	6—10	5,5—7,0
II. Смеси (крупно-зернистые, средне-зернистые) для нижнего слоя покрытия	95—100	75—100	—	55—83	43—69	27—49	19—40	10—26	7—18	4—11	2—7	0—4	4,0—6,0

Расчет содержания битума в асфальтобетоне по битумоемкости минеральных компонентов производится в два этапа: определение битумоемкости каждой фракции минеральной части смеси и расчет содержания битума.

Для определения битумоемкости просушенные материалы рассеивают на фракции менее 0,071, 0,071—0,14, 0,14—0,315, 0,315—0,63, 0,63—1,25, 1,25—3, 3—5, 5—10 мм и т. д. до наибольшей крупности.

Приготавливают смесь из минерального порошка (менее 0,071 мм) и битума по показателю прочности R_{50} и объемной массе определяют оптимальное количество битума, которое и принимают как величину битумоемкости минерального порошка. Затем в первую смесь добавляют фракцию 0,071—0,14 мм в заданном количестве и также по наибольшим показателям прочности и объемной массы определяют оптимальное количество битума.

Зная битумоёмкость минерального порошка и содержание порошка в смеси, определяют битумоёмкость фракции 0,071—0,14 мм по формуле

$$E_m = \frac{1}{P_m} \left[E - \sum_{i=1}^{m-1} P_i E_i \right],$$

где B_m — битумоемкость расчетной фракции m , %; B_i — битумоемкость фракции i , %; P_i — содержание фракции i в частях от целого; B — оптимальное содержание битума в смеси, %; P_m — содержание фракции m в частях от целого.

Для определения битумоемкости третьей фракции 0,14—0,315 мм в минеральную смесь, рассчитанную по предельным кривым (например, при $K=0,75$), вводят заданное количество расчетной фракции. По показателям физико-механических свойств определяют оптимальное содержание битума и рассчитывают величину битумоемкости. Последовательным введением новых фракций в смесь определяют битумоемкость всех фракций, входящих в состав асфальтобетона.

Так как величина битумоемкости является постоянной для данного материала, то при применении материалов, у которых битумоемкость была определена ранее, можно пользоваться готовыми таблицами (табл. 95.)

В этом случае расчет сводится к определению оптимального содержания битума в смеси по следующей формуле:

$$E_{\text{CM}} = K \sum_{i=1}^m E_i P_i,$$

где K — коэффициент, зависящий от марки битума (при БНД = 60/90 — 1,05; БНД = 90/130 — 1,00; БНД = 130/200 — 0,95; БНД = 200/300 — 0,90); B_i — битумоемкость фракции i ; P_i — содержание фракции i в смеси в частях от целого.

Таблица 95

Размер фракций, мм	Битумоемость, %				Размер фракций, мм	Битумоемость, %			
	Гранитный материал	Диоритовый материал	Материал из плотного, прочного известняка	Чистый, окатанный кварцевый песок и гравий		Гранитный материал	Диоритовый материал	Материал из плотного, прочного известняка	Чистый, окатанный кварцевый песок и гравий
15—25	3,9	3,3	2,9	—	1,25—0,63	5,9	7,0	6,0	4,6
10—15	4,7	4,0	3,5	—	0,63—0,315	6,4	7,9	7,0	4,8
10—5	5,4	4,5	4,1	2,8	0,315—0,14	7,4	9,0	7,3	6,1
5—3	5,6	5,6	4,6	3,3	0,14—0,071	8,4	10,0	9,4	7,0
3—1,25	5,7	5,9	5,3	3,8	0,071	18,0	16,5	16,0	14,0

На расчетное содержание битума влияет шероховатость зерен, степень запыленности, содержание глинистых включений, активность минерального материала, плотность смеси. Поэтому оптимальное содержание битума может отклоняться от расчетной величины на $\pm 5\%$. Рассчитав требуемое количество битума, готовят контрольную асфальтобетонную смесь, формируют образцы и определяют физико-механические свойства. Путем корректировки минерального состава добиваются соответствия показателям ГОСТ 9128—67.

Пример. Требуется рассчитать оптимальное содержание битума в мелкозернистой асфальтобетонной смеси, приготовленной на гранитном щебне (35%), отсевах (40%), кварцевом песке (15%) и известняковом порошке (10%). Минеральная часть смеси, подобранная по предельным кривым, имеет следующий гранулометрический состав (табл. 96).

Таблица 96

Материал	Остатки	Размеры отверстий сит, мм							
		5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	0,071
Гранит	Частные	33,2	9,6	9,9	7,1	11,5	0,3	0,8	2,6
	Полные	33,2	42,8	52,7	59,8	71,3	71,6	72,4	—
Кварцевый песок	Частные	—	—	—	—	—	9,0	4,2	1,8
	Полные	—	—	—	—	—	9,0	13,2	—
Известняковый порошок	Частные	—	—	—	—	—	1,1	1,3	7,6
	Полные	—	—	—	—	—	1,1	2,4	—
Сумма полных остатков		33,2	42,8	52,7	59,8	71,3	81,7	87,8	—

Зная битумоемость каждой фракции принятых материалов (см. табл. 95) и количество фракций в смеси, определяют оптимальное содержание битума. Для этого величину частных остатков в частях от целого умножают на битумоемость каждой фракции материала и произведение складывают (табл. 97). Например, для определения удельной битумоемости 0,332 частей гранитного щебня фракции 15—5 мм умножаем на битумоемость (4,3%) и получаем 1,42. Для других фракций и материалов поступаем аналогично.

Таблица 97

Размеры фракций, мм	Частные остатки в частях целого			Битумоемость, %			Удельная битумоемость фракций, %
	Гранит	Кварцевый песок	Известняковый порошок	Гранит	Кварцевый песок	Известняковый порошок	
15—5	0,332	—	—	4,3	—	4,1	1,42
5—3	0,096	—	—	5,6	3,3	4,6	0,54
3—1,25	0,099	—	—	5,7	3,8	5,3	0,56
1,25—0,63	0,071	—	—	5,9	4,6	6,0	0,42
0,63—0,315	0,115	—	—	6,4	4,8	7,0	0,73, 3,67
0,315—0,14	0,003	0,090	0,011	7,4	6,1	7,3	0,02+0,55+0,08
0,14—0,071	0,008	0,042	0,013	8,4	7,0	9,4	0,067+0,29+0,12
<0,071	0,036	0,013	0,073	18,0	14,0	16,0	0,65+0,18+1,17
$\Sigma=6,80$							

Таким образом, расчетное содержание битума в асфальтобетонной смеси равно 6,8% от массы минеральной части. Асфальтобетон с рассчитанным количеством битума обладает следующими свойствами: прочность при сжатии при $+50^\circ\text{C}$ — 13 кгс/см², при $+20^\circ\text{C}$ — 40 кгс/см², водонасыщение — 1,2%, набухание — 0,1%, коэффициент водоустойчивости — 0,95.

§ 95. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Свойства асфальтобетонной смеси. Для получения плотного, прочного асфальтобетона необходимо затратить определенную работу на укладку, разравнивание и уплотнение смеси. Асфальтобетонные смеси можно подразделить на литые, пластичные и жесткие.

Литые смеси обладают значительной подвижностью; при укладке их разравнивают ручным вальком и заглаживают.

Пластичные смеси обладают сравнительно невысокой подвижностью частиц и уплотняют их катками. Необходимая плотность достигается укаткой в процессе устройства покрытия.

Жесткие смеси обладают повышенным внутренним трением и малой подвижностью. К ним можно отнести горячие асфальтобетонные смеси с повышенным содержанием щебня (50—65%) и холодные смеси.

Необходимая подвижность бетонной смеси, приготовляемой на вязких битумах, достигается в основном за счет повышения темпе-

ратуры, снижающей вязкость битума, а в смесях, применяемых без подогрева, — использованием жидких битумов или битумных эмульсий.

Подвижность и рыхлость асфальтобетонной смеси зависит от ее структуры, количества битума и качества минерального порошка. Зернистые смеси с применением дробленых минеральных материалов имеют меньшую подвижность, чем смеси с применением гравия и природного песка. Смеси с повышенным содержанием минерального порошка обладают большей жесткостью; непросушенный минеральный порошок понижает подвижность смеси. Избыток битума понижает рыхлость смеси; такая смесь обычно слеживается при перевозке, растекается по кузову автомобиля-самосвала и с трудом выгружается. Образующиеся плотные комья трудно рыхлить и укладывать в покрытие.

На подвижность асфальтобетонной смеси оказывают влияние характер и качество перемешивания в смесителях, при этом смеси, приготовленные в лопастных мешалках, более удобообрабатываемы по сравнению со смесями, приготовленными в мешалках со свободным перемешиванием.

Введение в смесь некоторых поверхностно-активных добавок, пластифицирующих битум, увеличивает ее подвижность. Степень подвижности асфальтобетонных смесей может быть оценена по методу проф. И. А. Рыбьева, который основан на определении усилия или времени, затрачиваемого на преодоление сил сцепления и трения смеси при движении металлического конуса. Показателем подвижности (удобообрабатываемости) является усилие в килограммах, необходимое для извлечения конуса из смеси, или время в секундах для той же цели. Величины показателя удобообрабатываемости приведены в табл. 98.

Показателем удобообрабатываемости является также уплотняемость смесей в покрытие под действием катков и других уплотняющих средств. Уплотняемость смесей зависит в основном от тех же факторов внутреннего трения и сцепления, что и подвижность. Однако имеется и некоторое различие. Так, подвижность и рыхлость бетонной смеси понижается с избытком битума, в то же время увеличение содержания битума на 10—15% выше оптимального улучшает уплотняемость смесей.

Таблица 98

Вид асфальтобетонной смеси	Показатели удобообрабатываемости	
	кг	с
Литая	2,5—3,25	12,5—16,0
Подвижная песчаная	1,5—2,5	7,5—12,5
» мелкозернистая	2,0—2,5	10,0—12,5
» среднезернистая	2,25—3,0	11,0—15,0
Жесткая (при виброуплотнении)	<1,5	<7,5

Показатели	Величина уплотняющей нагрузки, кгс/см ²					
	50	75	100	150	200	300
Объемная масса, г/см ³	2,10	2,15	2,22	2,24	2,25	2,25
Водонасыщение, %	4,0	3,2	2,1	2,0	2,0	1,9
Предел прочности при сжатии при +20° С, кгс/см ²	45	48	52	54	56	56

В значительной мере на прочность и устойчивость асфальтобетона данного состава и качества исходных материалов влияет степень уплотнения смеси, что видно из табл. 99.

В дорожных покрытиях после уплотнения бетонной смеси катками и последующего доуплотнения автомобилями плотность асфальтобетона соответствует примерно плотности образцов, уплотненных статической нагрузкой 300 кгс/см² в течение 3 мин при рабочей температуре смеси.

Уплотняемость асфальтобетонных смесей можно определить с помощью прибора ХАДИ (рис. 173). За показатель степени уплотняемости смеси принимается число нагружений, необходимых для получения образца смеси с заданной объемной массой.

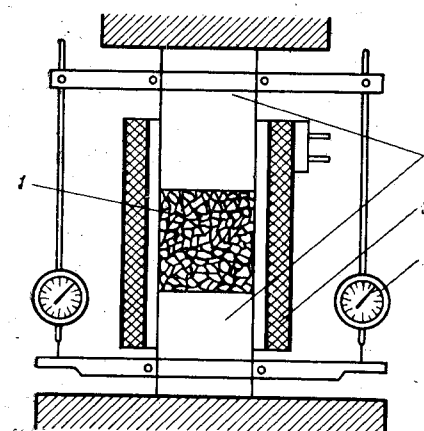


Рис. 173. Схема прибора для определения уплотняемости асфальтобетонных смесей:

1 — образец; 2 — верхний и нижний вкладыши; 3 — форма; 4 — индикатор

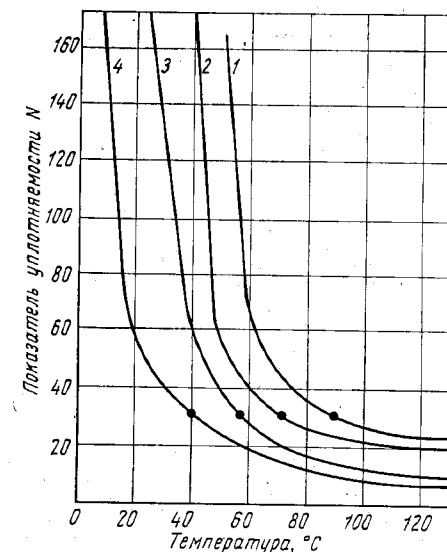


Рис. 174. Зависимость уплотняемости асфальтобетонных смесей от температуры и вязкости битума:

1 — смесь, приготовленная на битуме БН-Ш; П-72; 2 — то же, на битуме БН-1; П-130; 3 — то же, на битуме БН-0; П-290; 4 — то же, на битуме Б-6 ($C_{80}^{80}=129$ с)

Таблица 100

Тип асфальтобетона	Марка битума	Коэффициент сбега смеси		
		0,7	0,8	0,9
		Температура конца уплотнения, °С		
Горячий	БНД-40/60	95—120	75—90	60—70
	БНД-90/130	80—100	65—75	50—55
Теплый	БНД-130/200	80—90	50—65	40—45
	БНД-200/300	70—80	35—50	30—40
	СГ-130/200	—	25—35	—

С помощью этого метода установлены критические (минимальные) температуры эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей при устройстве покрытий в зависимости от марки применяемого битума и гранулометрического состава минеральной смеси (рис. 174, табл. 100).

Снижение минимальной температуры конца укатки смесей, подобранных по коэффициенту сбега 0,9, связано с уменьшением величины внутреннего трения смеси.

Уплотнение жестких смесей горячего типа, содержащих повышенное количество щебня, необходимо начинать при 120—130°С. Уплотнение предпочтительно начинать виброкатками для предварительной упаковки зерен и заканчивать катками на пневматических шинах.

Различные по минералогическому составу и структуре минеральные материалы оказывают влияние на степень уплотняемости асфальтобетонных смесей. Минералогический состав и пористость материалов определяют шероховатость и форму минеральных зерен, что, в свою очередь, отражается на величине внутреннего трения и сцепления частиц, а следовательно, и на уплотняемости смесей.

Структура и размер пор влияют на степень отсоса жидких компонентов битума и способствуют повышению вязкости битумных прослоек и вязкого сопротивления смесей при уплотнении. Так, асфальтобетонные смеси, приготовленные на металлургических шлаках, отличаются худшей уплотняемостью, чем смеси на щебне из природных горных пород. Асфальтобетонные смеси на щебне из пористых известняков более жестки, чем на плотных известняках, вследствие значительной диффузии наиболее подвижного компонента (масел) из битума. Поэтому смеси на щебне из плотных известняков обладают лучшей уплотняемостью по сравнению со смесями на щебне из пористых известняков.

Производство асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонные смеси изготавливают на стационарных или передвижных асфальтобе-

тонных заводах (АБЗ). Для устройства и ремонта покрытий в городах устраивают стационарные заводы. Для строительства магистральных автомобильных дорог, используют, как правило, временные заводы. Асфальтобетонные заводы обычно размещают у железнодорожных и водных путей или непосредственно у строящейся дороги. Удаленность завода от места укладки смеси определяют продолжительностью ее транспортирования, которая не должна превышать 1,5 ч. Целесообразный радиус обслуживания строящихся автомобильных дорог с одного АБЗ составляет 60—80 км.

Выбор площадки для асфальтобетонного завода в каждом случае решают на основе данных технико-экономических изысканий. Площадка для размещения завода должна быть по возможности ровной и иметь небольшой уклон для стока атмосферных вод. В состав заводов входят: смесительный цех, состоящий из машин и агрегатов, предназначенных для приготовления асфальтобетонной смеси из подготовленных соответствующим образом составляющих материалов; битумное хозяйство, включающее битумохранилище, битумоплавильные котлы, насосные станции, битумопроводы; помольная установка, перерабатывающая минеральные материалы (известняк, доломит, доменные шлаки) в минеральный порошок; склады щебня, песка и минерального порошка; лаборатория, контролирующая качество материалов, технологию производства и качество выпускаемой продукции; энергосиловое и паросиловое хозяйство; средства для внутризаводского транспортирования материалов и др.

Поступающие на завод минеральные материалы разгружают на специальные площадки, которые должны иметь твердое покрытие. Рекомендуется устраивать крытые склады или навесы для хранения 10—15-дневного запаса щебня мельче 15 мм и песка. Каменный материал для производства минерального порошка после просушки во вращающемся барабане размалывают в шаровых или трубных мельницах. Хранят минеральный порошок в закрытых помещениях бункерного типа или в силосах. Для механизации складских операций обычно применяют автопогрузчики, механические погрузчики, ленточные конвейеры, транспортные эстакады и другие машины и механизмы.

Битум поступает на асфальтобетонный завод в бункерных полувагонах или цистернах и сливается в хранилища временного или постоянного типа. При расположении нефтеперерабатывающего завода на расстоянии до 300 км битум можно доставлять на АБЗ автобитумовозами или автогудронаторами. Технологический процесс получения асфальтобетонной смеси включает следующие основные операции:

подготовку минеральных материалов (подача и при необходимости сортировка минеральных материалов, высушивание и нагрев их до требуемой температуры, дозирование);

подготовку битума (подача из битумохранилища в битумоплавильню, удаление содержащейся в битуме влаги и нагрев до заданной рабочей температуры, а в необходимых случаях введение по-

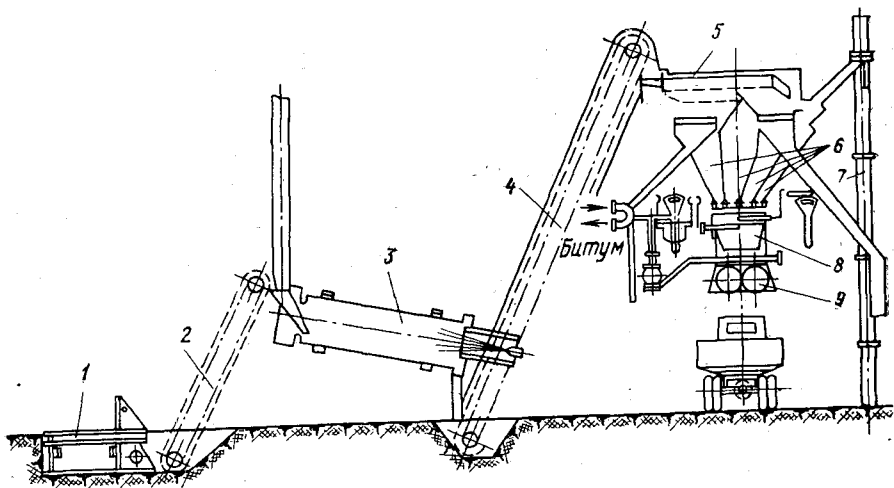


Рис. 175. Схема технологического процесса работы смесителя Д-597 (Д-325)

верхностно-активных добавок или разжижителя и дозирование перед подачей в мешалку смесителя);

перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтобетонной смеси в накопительные бункера или автомобили-самосвалы.

Основным агрегатом на асфальтобетонном заводе является асфальтосмеситель. В настоящее время применяют три группы смесителей, которые различают по технологическому процессу приготовления смеси и конструктивным особенностям отдельных агрегатов:

I — смесители периодического действия принудительного перемешивания типа Д-325, Д-597, Д-597А, Д-617-2, Д-508-2, Д-386;

II — смесители непрерывного действия типа Д-590, комплект оборудования Д-645-3 с мешалкой типа Д-647 и смеситель передвижной на пневмоколесах Д-288;

III — смесители со свободным перемешиванием типа Д-138 и Г-1М.

Асфальтосмесители I группы являются основными, выпускаемыми промышленностью и предназначенные для выпуска всех типов и видов смесей. Технологическая схема работы АБЗ со смесительной установкой Д-597 в общем виде представлена на рис. 175. Предварительно дозированные щебень и песок попадают через питатель 1 на «холодный» ковшовый элеватор 2. Просушенные и нагретые в сушильном барабане 3 до 200–220°С песок и щебень «горячим» элеватором 4 подаются на грохот 5, которым сортируются по соответствующим отсекам «горячего» бункера 6. Минеральный порошок (в холодном виде) отдельным элеватором 7 подается непосредственно в отсек бункера (благодаря наличию в соседнем отсеке горячего щебня минеральный порошок несколько нагревается).

Из бункера минеральные материалы через затворы попадают в весовой ковш 8, где поочередно (суммированием навесок) взвешиваются в требуемой пропорции на один замес и ссыпаются в лопастную мешалку 9, и после перемешивания сухой минеральной смеси в течение 10–20 с туда же вводят битум. Перемешивание всех компонентов одного замеса массой 600 кг обычно продолжается 60–80 с. Производительность смесителей Д-597 (Д-325) составляет 25–30 т/ч.

Асфальтосмесители I группы совместно с технологическими узлами АБЗ могут быть автоматизированы.

В асфальтосмесителях II группы с мешалкой непрерывного действия (например, Д-645-3) фракционированный минеральный материал из «горячих» бункеров дозируют ленточными дозаторами непрерывного действия; минеральный порошок — шнековым. Все материалы в требуемом соотношении поступают в лопастную мешалку, смачиваются непрерывным потоком битума, перемешиваясь, смесь перемещается к выгрузочному отверстию. Время и скорость перемешивания регулируются. Производительность смесителя Д-645-3 составляет 100 т/ч. Смеситель Д-288 с производительностью 6 т/ч предназначен в основном для ремонтных работ.

Асфальтосмесители III группы со свободным перемешиванием устаревшие и могут быть использованы только для приготовления крупнозернистых смесей и черного щебня. Схема технологического процесса приготовления смеси на асфальтобетонном заводе смесителями Д-138 показана на рис. 176. Исходные минеральные материалы (щебень и песок) из открытых складов 1, 2 и минеральный порошок из закрытого склада 3 подают в дозаторы 4. На дозирочной установке дозируют все минеральные составляющие на один замес смесителя (массой 3,0–3,5 т). Дозированные минеральные материалы транспортером 5 подают в бункер 6, откуда при открытии затвора они самотеком ссыпаются во вращающийся барабан смесителя 7, который разделен перегородкой на две части: сушильное отделение — для просушивания и нагрева минеральных материалов до 170–190°С и смесительное — для объединения минеральных материалов.

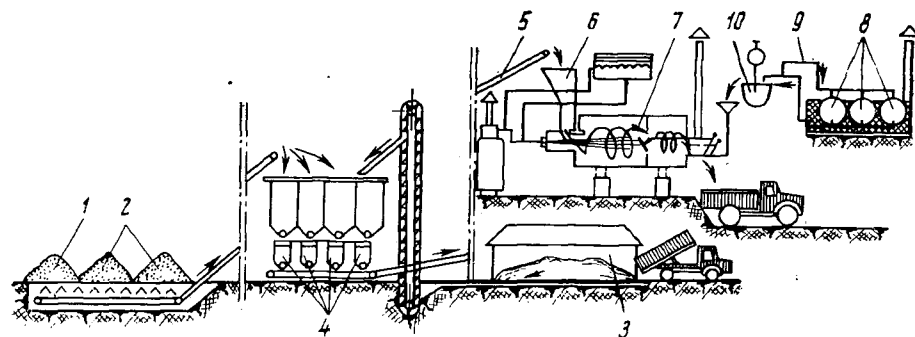


Рис. 176. Схема смесительной установки Д-138

В смесительное отделение барабана одновременно с минеральными материалами из битумоплавильных котлов 8 по трубам 9 через дозатор 10 подают битум. Все компоненты смешивают, и готовую смесь выгружают в автомобиль-самосвал. Производительность смесительной установки Д-138 при приготовлении крупнозернистой асфальтобетонной смеси составляет 90—110 т/смену.

Укладка и уплотнение смесей. Горячую асфальтобетонную смесь перевозят с завода к месту укладки автомобилями-самосвалами грузоподъемностью от 5 до 12 т. При дальности возки более 30 км, чтобы смесь не остыла в пути, кузов автомобилей-самосвалов рекомендуется покрыть брезентом. Покрытия из горячей асфальтобетонной смеси устраивают в сухую погоду: весной и летом при температуре воздуха не ниже +5°С, а осенью — не ниже +10°С. Горячая асфальтобетонная смесь при укладке должна иметь температуру, устанавливаемую в зависимости от вида вяжущего материала и степени подвижности смеси (табл. 101). Асфальтобетонную смесь укладывают на сухое основание, очищенное от грязи и пыли механическими щетками, продувкой сжатым воздухом от компрессора или другими средствами. Для обеспечения сцепления между основанием и асфальтобетоном, а также между слоями асфальтобетонного покрытия их поверхности обрабатывают битумной эмульсией, вязким или разжиженным битумами. Расход битума от 0,4 до 0,8 л/м² по основанию, по нижнему слою — 0,2—0,3 л/м², 60-процентной битумной эмульсии — 0,6—0,9 л/м² по основанию и 0,3—0,4 л/м² по основанию и 0,3—0,4 л/м² по нижнему слою асфальтобетонного покрытия.

Таблица 101

Марка битума	Температура смесей в уложенном слое, °С	
	без поверхностно-активных веществ	с поверхностно-активными веществами
БНД-40/60	140—120	130—110
БНД-60/90	130—110	120—100
БНД-90/130	120—110	110—100

Примечание. Верхний предел назначается для смесей, содержащих щебня более 45%.

Укладку асфальтобетонной смеси выполняют, как правило, самоходными асфальтоукладчиками, которые одновременно с укладкой производят предварительное уплотнение смеси. Промышленность выпускает асфальтоукладчики марок: ДС-63 с производительностью 25 т/ч, Д-724—60 т/ч, Д-105Б—100 т/ч и Д-699—200 т/ч.

Асфальтобетонную смесь уплотняют гладкоребраемыми моторными катками массой до 5 т (легкие); двухосными двух- и трехвальцовыми и трехосными трехвальцовыми катками массой 10—

18 т (тяжелые); самоходными катками на пневматических шинах (массой 16—30 т) или виброкатками (массой 4—8 т).

Обычно на один асфальтоукладчик необходимы один легкий и два тяжелых катка, желательно в звене иметь еще самоходный каток на пневматических шинах. Легкими катками покрытие уплотняют непосредственно после укладки тремя — пятью проходами по одному следу и заканчивают уплотнение тяжелыми катками (12—20 проходов); при ручной укладке число проходов катка увеличивается на 20—30%.

Технический контроль за укладкой и уплотнением асфальтобетонной смеси при устройстве дорожных покрытий состоит в систематическом наблюдении за температурой и однородностью смеси, укладываемой в покрытие, в проверке проектной толщины и профиля покрытия, в наблюдении за выполнением правил укладки покрытия.

Наиболее важной частью контроля является проверка степени уплотнения бетона в покрытии. Для этой цели берут пробы из покрытия (вырубкой или высверливанием) с ненарушенной структурой и определяют объемную массу и водонасыщение образцов. Из части взятой пробы изготовляют образцы, так же как при испытании асфальтобетонных смесей. По отклонению объемной массы и водонасыщения образцов с ненарушенной структурой от объемной массы образцов, стандартно уплотненных, судят о качестве уплотнения дорожных покрытий.

При отсутствии данных о составе асфальтобетона и его физико-механических свойствах производят полные испытания согласно техническим правилам. Состав асфальтобетона определяют после экстрагирования (извлечения путем растворения) вяжущего материала с помощью специальных приборов-экстракторов с последующим расчетом его содержания и анализом гранулометрического состава минеральной смеси.

Влияние технологических процессов на формирование микро-структурных связей и макроструктуры асфальтобетона. В соответствии со стадийным процессом формирования структуры асфальтобетона *первый период* — период формирования микро-структурных связей является наиболее ответственным и требует тщательного выполнения нагрева, операций дозирования и перемешивания смесей.

Одним из важнейших элементов технологии приготовления смеси является перемешивание минеральных материалов с битумом. Задачей перемешивания является равномерное распределение компонентов в смеси при максимально возможном обволакивании минеральных материалов вяжущим.

Нагрев исходных материалов до рабочей температуры необходим для хорошего смачивания и прилипания вяжущего к поверхности минеральных зерен, это облегчает перемешивание вследствие понижения вязкости битума. Недогрев и перегрев недопустимы (рис. 177). Изменение группового состава битума происходит уже в первые минуты его смешения с горячим минеральным материалом

Таблица 102

Место отбора пробы	Групповой состав			Свойства		
	Масла	Смолы	Асфальтены	Глубина проникновения иглы при +25°С	Температура размягчения, °С	Растяжимость при 25°С, см
Битум из рабочего котла	51,7	30,2	18,0	94	45,0	133
Битум экстрагирован из смесей	51,8	24,8	23,0	76	45,5	127
Битум экстрагирован из асфальтобетона через пять дней после укладки	51,0	23,2	25,1	67	46,5	121

(табл. 102), поэтому асфальтобетонные смеси необходимо готовить при минимально возможной температуре, при которой вязкость битума была бы не более 5 пз.

По принятой в настоящее время технологической схеме приготовления смесей в мешалку подают горячий щебень, песок, минеральный порошок и битум. Естественно, что вначале большая часть битума объединяется с минеральным порошком и в дальнейшем требуется значительная затрата энергии для того, чтобы перевести часть этого битума с поверхности порошка на поверхность крупных минеральных составляющих. Введение минерального порошка после битума позволяет ускорить процесс перемешивания, а в некоторых случаях и получить более высокое качество смеси. При введении минерального порошка после битума последний интенсивно и достаточно полно покрывает крупные минеральные зерна, а минеральный порошок затем адсорбирует битум на своей поверхности, структурирует его, обеспечивая в дальнейшем высокие эксплуатационные свойства асфальтобетона. Преимуществом подачи минерального порошка после битума является также меньшая затрата времени на перемешивание и отсутствие потерь порошка вследствие возможного развеивания.

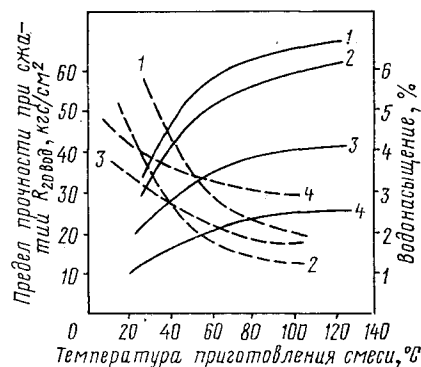


Рис. 177. Влияние температуры приготовления смеси на свойства асфальтобетона:

1 — БНД-40/60; 2 — БНД-60/90;
3 — БНД-130/200; 4 — БНД-200/300,
— $R_{20\text{вод}}$; --- водонасыщение

Таблица 103

Тип смеси	Время приготовления смесей в лопастных мешалках, с	
	Смешение минеральных материалов	Смешение с битумом
Песчаная	15	45—60
Мелкозернистая	15	40—50
Среднезернистая	15	30—45
Крупнозернистая	—	20—30

Продолжительность перемешивания асфальтобетонной смеси зависит от состава бетона, свойств и температуры нагрева материалов, способа подачи минерального порошка и конструкции смесительной установки. Мелкозернистые смеси с большим содержанием минерального порошка требуют более длительного перемешивания, чем крупнозернистые (табл. 103).

Введение добавок. Для улучшения прилипания битума к поверхности минеральных материалов, облегчения распределения битума в смеси и увеличения водоустойчивости асфальтобетона вводят добавки. На асфальтобетонном заводе поверхностно-активные добавки могут быть введены в битум, на минеральный материал до подачи битума в мешалку, в битум и на минеральный материал отдельно при использовании двойных добавок, на поверхность минерального порошка в процессе его приготовления.

В вязкий битум безводные добавки вводят при 120—140°С. Слабообводненные добавки рекомендуется вводить порционно с тщательным перемешиванием при температуре битума 110—130°С. В минеральный материал добавки вводят в процессе сухого перемешивания смеси.

Второй период — период формирования макроструктуры асфальтобетона завершает цикл технологических операций и требует выполнения в заданные сроки транспортирования, укладки и уплотнения. При транспортировании и укладке асфальтобетонная смесь претерпевает некоторые физико-химические изменения. Так, с понижением температуры происходит увеличение толщины ориентированного слоя битума на минеральных частицах, что приводит к изменению вязкости внешнего слоя битумной пленки.

Процесс уплотнения является завершающей стадией активного структурообразования асфальтобетона, от эффективности которого зависят его эксплуатационные свойства. Недоуплотненные покрытия продолжают уплотняться движущимся автотранспортом, что в большинстве случаев приводит

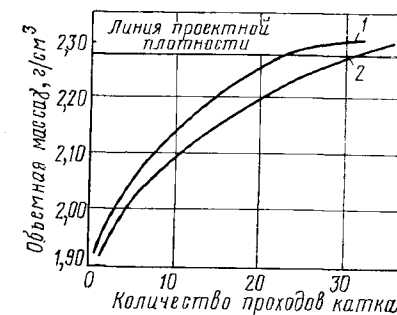


Рис. 178. Зависимость объемного веса асфальтобетона от числа проходов катка:

1 — асфальтобетон с базальной макроструктурой; 2 — то же, с порою

к образованию неровностей по поперечному профилю покрытий. Однако количество проходов катков сверх оптимального может привести к увеличению дефектов структуры асфальтобетона и вследствие этого к уменьшению его прочности и долговечности. Как правило, действие уплотняющих средств направлено на преодоление сопротивления жидкой фазы и внутреннего трения минерального остова. Не умаляя роли сопротивления, развиваемого минеральным остовом, следует указать, что значительную долю общего сопротивления составляет вязкое сопротивление битумных пленок. Об этом, в частности, свидетельствует эффективность применения вибрирующих устройств, которые при малом вертикальном давлении позволяют достигнуть плотности асфальтобетона, иногда значительно превышающей плотность, получаемую при уплотнении укаткой.

Исследования уплотняемости асфальтобетонных смесей, выполненных в ХАДИ, показали, что нижний предел вязкости битума, при котором можно достичь проектной плотности асфальтобетонной смеси, должен быть не менее 100 пз, а верхний — не более 200—250 пз.

Существенным фактором, определяющим качество уплотнения, считается величина изменения плотности асфальтобетона при каждом проходе катка. Уплотнение за один проход должно соответствовать приращению плотности $0,1 \text{ г/см}^3$ (рис. 178). При изменении плотности более чем на $0,1 \text{ г/см}^3$ появляются волны, наплывы и другие дефекты.

К концу уплотнения минеральные частицы асфальтобетона приобретают устойчивое положение, фиксированное битумными пленками. Снижение температуры приводит к упрочнению коагуляционных связей. Происходит дальнейшее формирование диффузионно-структурированной оболочки битума на частицах и ориентация входящих в состав битума поверхностно-активных веществ. Скорость твердения асфальтобетона взаимосвязана с температурой воздуха и вязкостью исходного битума. Быстрое охлаждение асфальтобетона ухудшает условия формирования прочных коагуляционных связей. Поэтому максимальную температуру начала укатки в зависимости от типа смеси и температуры воздуха следует выбирать с учетом времени твердения не менее 3—4 ч.

§ 96. ТЕПЛЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН

Для устройства покрытий на автомобильных дорогах высших категорий применяют горячий асфальтобетон. Выполненные в последние годы исследования показали, что в определенных условиях целесообразнее применять не горячий, а теплый асфальтобетон на битумах пониженной вязкости. Применение этих битумов в асфальтобетоне накладывает свои особенности на структурообразование и структурно-механические свойства материала. Уменьшается адгезионная и когезионная прочность вяжущего материала. Однако в битумной пленке действуют два конкурирующих фактора, которые приводят к снижению когезии вследствие применения битумов

с малой вязкостью и увеличению когезионной прочности за счет уменьшения толщины пленки битума.

Теплый асфальтобетон, применяемый для дорожного строительства, разделяют на два вида: ТАБ-I и ТАБ-II. Формирование структуры асфальтобетона первого вида происходит за счет упрочнения микроструктурных связей при сближении структурообразующих элементов, достигаемое уплотнением и охлаждением материала в покрытии. Формирование структуры второго вида происходит относительно длительное время за счет испарения разжижителя и упрочнения микроструктурных связей при увеличении вязкости битумных пленок.

При формировании структуры асфальтобетона первого вида необходимо применять битумы БНД=130/200, БНД=200/300 и БНД=40/60, БНД=60/90, смешанные с тяжелыми разжижителями (мазут, каменноугольные дегти, жидкие битумы).

Процессы структурообразования в смесях, приготовленных на этих битумах, протекают так же, как и в горячих смесях, но с некоторым замедлением. Изменяя порядок введения минеральных материалов, разжижителя и битума, можно направленно регулировать структурообразование.

Введение в мешалку пластификатора с ПАВ непосредственно после минеральных материалов обеспечивает предварительную гидрофобизацию зерен, что создает условия для более равномерного распределения вяжущего по поверхности минеральных материалов, снижает работу перемешивания (табл. 104).

При введении пластификатора в смесь после битума размягчается внешняя оболочка битумной пленки на минеральных зернах, снижается вязкость свободного битума, уменьшается вероятность самослипания покрытых вяжущим зерен при снижении температуры смеси. Такой порядок введения материалов наиболее целесообразен для работ в осенне-зимний период.

При формировании структуры теплого асфальтобетона по второму виду применяют битумы СГ=130/200 и БНД=40/60, БНД=60/90, смешанные с легкими разжижителями (лигроин, сланцевое масло, каменноугольное масло).

Процессы структурообразования теплого асфальтобетона в этом случае протекают по типу формирования структуры холодного асфальтобетона.

Сдвигоустойчивость. Главным сдерживающим началом широкого применения теплого асфальтобетона для автомобильных дорог является возможность образования наплывов, сдвигов при движении автомобилей в летнее время. На рис. 179 приведена зависимость прочности при сдвиге асфальтовяжущего, асфальтового раствора и асфальтобетона от вертикальной нагрузки. Наибольшей прочностью при сдвиге обладает асфальтовяжущее и наименьшей — асфальтобетон.

По мере насыщения асфальтового раствора щебнем (до 20%) прочность при сдвиге понижается. Дальнейшее насыщение смеси щебнем приводит к формированию пространственного каркаса,

Таблица 104

Технология приготовления смеси	Остаточная пористость	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²		Коэффициент водоустойчивости
			при 50° С	при 20° С	
Минеральная часть	4,0	1,6	13,6	72,5	0,89
Вязкий битум (П-60)	3,0	0,75	15,0	65,0	0,92
Минеральная часть	5,0	1,2	11,0	40,0	1,0
Вязкий битум пластифицированный (П-260)	4,5	0,9	12,0	40,0	1,0
Минеральная часть	3,0	0,9	11,4	40,0	0,96
Пластификатор, битум (П-60)	2,5	0,7	12,0	37,5	1,0
Минеральная часть	5,0	1,2	9	25,0	0,90
Вязкий битум (П-60), пластификатор	3,5	0,7	11,0	26,0	0,97

Примечание. Над чертой — без ПАВ, под чертой — с ПАВ.

вследствие чего прочность при сдвиге возрастает. В этом случае максимальная прочность при сдвиге теплого асфальтобетона достигается при 40% щебня, а горячего при 50%. Такое различие объясняется тем, что вязкий битум образует на щебенках пленку большей толщины, чем менее вязкий битум. При этом увеличивается вероятность образования плоскостей скольжения по толстым пленкам и для создания сдвигоустойчивого каркаса в горячем асфальтобетоне требуется повышенное содержание щебня.

Для асфальтобетона с неизменным гранулометрическим составом прочность при сдвиге закономерно понижается с понижением вязкости битума. Однако при переходе к асфальтобетонам, приготовленным на битумах той же вязкости, но оптимальной структуры, эта закономерность нарушается. Теплый и горячий асфальтобетон

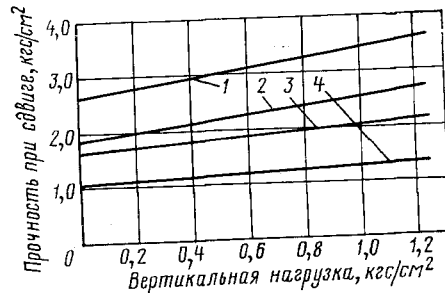


Рис. 179. Прочность при сдвиге при различной вертикальной нагрузке: 1 — асфальтовяжущего; 2 — асфальтового раствора; 3 — асфальтобетона на высевках; 4 — мелкозернистого асфальтобетона

оптимальных структур имеет практически одинаковые значения предельного сопротивления сдвигу. Это объясняется тем, что падение сдвигоустойчивости асфальтобетона, которое неизбежно происходит за счет снижения вязкости применяемого битума, компенсируется изменением в гранулометрии асфальтобетона, в результате чего общего падения прочности при сдвиге не происходит.

Трещиностойкость. Теплый асфальтобетон более пластичен при отрицательных температурах, чем горячий. Участок стабилизации прочности, характеризующий переход асфальтобетона в хрупкое состояние, у теплого асфальтобетона смещается в область низких температур по сравнению с горячими. У теплого асфальтобетона переход в хрупкое состояние происходит при $-40 \div -25^\circ \text{С}$, а у горячего — при $-10 \div -20^\circ \text{С}$. Прочность теплого асфальтобетона на растяжение при изгибе при 0°С ниже ($R_{\text{изг}} = 35 \text{ кгс/см}^2$), чем горячего ($R_{\text{изг}} = 50 \text{ кгс/см}^2$), но горячий асфальтобетон разрушается практически хрупко ($\epsilon = 0,007$), а теплый — как упруго-вязкое тело ($\epsilon = 0,025$).

Ползучесть. При нагружении теплого асфальтобетона постоянной нагрузкой в нем возникают обратимые и необратимые деформации, величина которых связана с уровнем напряжения. При напряжениях, не превышающих $0,03 R_p$, теплый асфальтобетон работает в упруго-вязкой стадии. При напряжениях до $0,3 R_p$ материал работает в упруго-вязкой стадии, но часть деформации после снятия нагрузки не восстанавливается; в асфальтобетоне накапливаются остаточные деформации. В материале устанавливается стационарное течение. При напряжениях, превышающих $0,4 R_p$, деформация асфальтобетона возрастает и приводит через некоторое время к разрушению.

Релаксация напряжений. Релаксационная способность теплого асфальтобетона так же, как и горячего, взаимосвязана с вязкостью битума и размером минеральных зерен (табл. 105). Теплый асфальтобетон на битуме БНД-200/300 в наименьшей степени релаксирует напряжения при предельной крупности зерен 1,25 мм, на битуме БНД-130/200 — при 5 мм. При температуре 0°С теплые асфальтобетоны релаксируют 6—7% первоначального напряжения, в то время как горячий асфальтобетон при этой температуре практически не релаксирует напряжения. Поэтому температурные напряжения при понижении температуры в теплом асфальтобетоне быстрее высасываются, чем в горячем. Отсюда большая трещиностойкость таких асфальтобетонов.

Минеральные материалы для теплого асфальтобетона должны быть чистыми, зерна угловатыми и шероховатыми. В смеси не допускается содержание природного песка и гравия. В крайнем случае содержание природного песка может быть не более 20% от массы дробленого песка (высевки). Минеральные порошки должны иметь удельную поверхность не менее $3500 \div 4000 \text{ см}^2/\text{г}$. Песок, получаемый при дроблении изверженных горных пород и металлургических шлаков, должен содержать зерен фракции 5—1,25 мм не менее 25%.

Таблица 105

Марка битума	Температура испытания, °С	Падение напряжений, % от первоначального за 7 мин наблюдения				
		Асфальто- вязущее до 0,071 мм	Асфальтовый раствор до		Асфальтобетон	
			0,63 мм	1,25 мм	5 мм	15 мм
БНД-130/200	0	5,0	6,5	6,0	3,0	13,0
	20	15,0	29,8	22,0	19,0	28,5
	35	16,0	22,9	—	—	20,9
	50	18,8	22,9	17,0	14,0	27,2
БНД-200/300	0	4,9	5,5	7,0	4,0	5,2
	20	9,2	14,0	24,0	20,0	20,5
	35	13,1	20,3	—	—	22,5
	50	15,0	22,6	16,0	22,0	23,0

Расчет состава теплого асфальтобетона ведется так же, как и горячего. Однако максимальное содержание щебня в мелкозернистой смеси не должно превышать 60%. Минерального порошка необходимо брать больше на 15—20%, чем для соответствующего типа горячего.

Качество теплых асфальтобетонов оценивают по физико-механическим свойствам в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 106. Теплый асфальтобетон с оптимальным гранулометрическим составом по прочности не уступает асфальтобетону, приготовленному на вязких битумах (табл. 107).

В обычных условиях при температуре воздуха выше +10°С структура горячего асфальтобетона в покрытии формируется относительно быстро. При температуре воздуха ниже +10°С расчетная плотность горячего асфальтобетона, как правило, не достигается. Поэтому, устраивая дорожные покрытия при температуре воздуха ниже +10°С, применяют теплый асфальтобетон.

Температура смеси в момент доставки ее на место укладки должна быть на 20—30°С выше пределов, приведенных в табл. 108. Ориентировочное время, в течение которого смесь сохраняет удобоукладываемость при различных температурах воздуха, приведено в табл. 109. Укладку асфальтобетонной смеси производят укладчиками и только при малом объеме работ — вручную. Уплотнение должно быть закончено до того момента, когда будет достигнута критическая температура. При температуре воздуха от 0 до +10°С укатку начинают пятью — семью проходами по одному следу легких катков и заканчивают 15—20 проходами тяжелых. При температуре воздуха от 0 до —15°С укатку выполняют только тяжелыми катками (20—25 проходов по одному следу, а число катков увеличивают в 1,5 раза по сравнению с обычными условиями).

Таблица 106

Показатели	Нормы по видам и маркам смесей			
	ТАБ-1/1	ТАБ-1/2	ТАБ-11/1	ТАБ-11/2
Пористость минерального остатка, % по объему, для смесей типов:				
А (содержание щебня 45—60%)	15—19	15—19	—	—
Б (содержание щебня 35—45%)	15—19	15—19	15—19	15—19
В (содержание щебня 15—30%)	18—22	18—22	18—22	18—22
Г (содержание фракций 1,25—5 мм 30—45%)	18—22	18—22	18—22	18—22
Д (содержание фракций 1,25—5 мм 15—30%)	18—22	18—22	18—22	—
Остаточная пористость, % по объему	2—5	2—7	3—8	3—8
Водонасыщение, % по объему, для смесей типов:				
А	1—5	2—6	—	—
Б	1—4	2—5	2—7	2—7
Г и Д	1—3	до 4	до 6	до 6
Набухание, % по объему	0,5	1,0	1,5	1,5
Предел прочности при сжатии, кгс/см ² , при температурах: +20°С, не менее	22	20	18	16
+50°С, не менее для смесей типов:				
А	8	7	—	—
Б и В	10	9	7	6
Г	12	10	6	5
Д	8	7	5	—
Коэффициент водостойкости, не менее	0,90	0,85	0,75	0,70
Коэффициент длительной водостойкости, не менее	0,75	0,65	0,60	0,55

Таблица 107

Тип асфальтобетона	Битум	Тип гранулометрии	Объемная масса, г/см ³	Водонасыщение, %	Набухание, %	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²		
						R ₅₀	R ₁₀	R ₂₀ ^b
Горячий	БНД-60/90	Тип Г оптимальный	2,30	0,61	0,46	11,0	28	30
			2,35	0,80	0,20	21,0	58	53
Теплый	БНД-130/200	Тип Г оптимальный	2,31	1,07	0,40	7,5	22	20
			2,35	0,66	0,20	18,0	40	36
	БНД-200/300	Тип Г оптимальный	2,31	1,45	0,62	7,0	18	19
			2,34	1,40	0,40	15,0	43	42

Таблица 108

Температура воздуха, °С	Марка битума								
	БНД-130/200			БНД-200/300			БНД-130/200		
	Скорость ветра, м/с								
	0	3	5	0	3	5	0	3	5
	Температура начала укатки смеси, °С								
+10	60	65	80	45	50	65	30	35	47
+5	65	70	85	50	55	70	32	37	50
0	70	75	90	55	60	75	35	40	55
—5	75	80	95	60	65	80	40	45	60
—10	80	85	—*	65	70	85	45	50	65
—15	85	90	—*	75	80	—*	50	55	70

* Устройство покрытий из теплой асфальтобетонной смеси не рекомендуется.

Таблица 109

Марка битума	Температура смеси в начале укладки, °С	Температура воздуха, °С			
		0	-5	-10	-15
		Время сохранения удобообрабатываемости асфальтобетонной смеси, мин			
БНД-130/200	100	30	25	20	15
БНД-200/300	90	35	30	25	20
СГ-130/200	80	120	90	50	30

Весьма эффективно включить в звено катков самоходный каток на пневматических шинах, которым уплотняют смесь перед прохождением тяжелых катков.

Область применения *теплого асфальтобетона*. Покрытия из теплого асфальтобетона устраивают на дорогах I—III категорий, а также на городских улицах, площадях и на дорогах промышленных предприятий, где по условиям эксплуатации требуются усовершенствованные покрытия капитального типа (табл. 110).

Таблица 110

Дорожно-климатические зоны	Категория автомобильной дороги								
	I			II			III		
	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума
I	ТАБ-I/1	Б, В	БНД-130/200	ТАБ-I/1, ТАБ-I/2	Б, В, Г, Б, В, Г	БНД-130/200, БНД-200/300	ТАБ-I/2	Б, В, Г	БНД-200/300, БН-1, БН-0

Продолжение табл. 110

Дорожно-климатические зоны	Категория автомобильной дороги								
	I			II			III		
	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума	Вид асфальтобетона	Тип гранулометрии	Марка битума
II	Не применяется			ТАБ-I/1	Б, В	БНД-130/200	ТАБ-I/2*, ТАБ-II/1	Б, В, Г, Б, В,	БНД-200/300, БН-1, БН-0
III	»			ТАБ-I/1*	А, Б	БНД-130/200	ТАБ-I/2**, ТАБ-II/1	Б, В, Г	БНД-130/200, БНД-200/300, СГ-130/200
IV	»			ТАБ-I/1**	А, Б, В	БНД-130/200	ТАБ-I/2**, ТАБ-II/2	Б, В, Г	БНД-130/200, БНД-200/300, СГ-130/200

* Применяют при производстве работ при температуре воздуха ниже +10° но не ниже -5°С.

** Применяют при производстве работ при температуре воздуха ниже +5°С, но не ниже -15°С.

§ 97. ХОЛОДНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН

Асфальтобетоны, укладываемые в холодном состоянии, делят на две группы: 1) приготавливаемые на жидких битумах и 2) приготавливаемых на медленнораспадающихся эмульсиях.

Асфальтобетонные смеси на жидких битумах приготавливают в горячем состоянии, а укладывают и уплотняют в покрытия в холодном виде. Смеси же на эмульсиях готовят и применяют в холодном состоянии. Холодный асфальтобетон в зависимости от насыщения его щебнем может быть базальной структуры (щебня 18—35%) и поровой (щебня 35—50%). Для верхнего слоя дорожных покрытий применяют мелкозернистые и песчаные асфальтобетонные смеси на жидких битумах. Асфальтобетонные смеси на эмульсиях могут применяться для вновь устраиваемых дорожных покрытий и для восстановления изношенных и ремонта разрушенных.

Асфальтобетон на жидких битумах. Характерной чертой холодного асфальтобетона, отличающего его от горячего и теплого, является способность оставаться длительное время после приготовления в рыхлом состоянии. Эта особенность холодных асфальтобетон-

ных смесей объясняется наличием тонкой битумной пленки на минеральных зернах, вследствие чего микроструктурные связи в смеси настолько слабы, что небольшое усилие приводит к их разрушению. Поэтому приготовленные смеси под действием собственной массы при хранении в штабелях и транспортировании не слеживаются (не комкуются). Уложенные в штабеля, они в течение длительного времени (до 12 мес) остаются в рыхлом состоянии; их сравнительно легко можно перегружать в транспортные средства и распределять тонким слоем при устройстве дорожных покрытий. Незначительной слеживаемостью обладают жесткие, хорошо разрыхляющиеся смеси с ограниченным содержанием битума и достаточным содержанием минерального порошка.

Слеживаемость смеси в случае необходимости можно уменьшить путем введения в нее в процессе перемешивания специальных добавок в виде водных растворов нефтяных мыл, сульфитно-спиртовой бражки и хлорного железа, известкового молока, раствора соапстока в количестве 2—3% по массе.

Важным технологическим свойством холодной асфальтобетонной смеси является также ее уплотняемость. В. О. Гельмер предложил определять уплотняемость холодной асфальтобетонной смеси коэффициентом уплотнения — отношением объемных масс образцов, уплотненных под различной нагрузкой:

$$P = \frac{\gamma_{400}}{\gamma_{0,5}},$$

где γ_{400} , $\gamma_{0,5}$ — объемные массы образцов при уплотнении нагрузкой 400 и 0,5 кгс/см² в течение 3 мин при 15—20° С.

Степень уплотняемости можно характеризовать также величиной деформации образцов при циклическом нагружении. Уплотняемость холодной асфальтобетонной смеси зависит от величины сцепления и внутреннего трения смеси. Значительное влияние на степень уплотняемости смеси оказывает количество и вязкость битума, а также свойства минеральных материалов, обуславливающих величину внутреннего трения.

Вследствие жесткости смеси холодный асфальтобетон в первое время после окончания укатки обычно не имеет достаточной плотности. В процессе эксплуатации дорожных покрытий под воздействием автомобильного движения плотность асфальтобетона повышается, а вместе с ней повышаются его механические свойства. Нормальной плотности дорожные покрытия из холодного асфальтобетона достигают в течение первых трех месяцев эксплуатации. Эта плотность соответствует плотности образцов, уплотненных нагрузкой в 400 кгс/см² в течение 3 мин при 15—20° С.

Свойства холодного асфальтобетона в дорожных покрытиях заметно изменяются вследствие повышения вяжущих свойств жидких битумов под воздействием атмосферных факторов. Для оценки этих качественных изменений холодного асфальтобетона пользуются показателями предела прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии и набухании образцов, изготовленных из смеси, про-

гретых при 90° С. Длительность прогрева смеси устанавливают в зависимости от скорости загустевания жидких вяжущих материалов.

Требования к холодному асфальтобетону, изготовленному на жидких битумах, приведены в табл. 111, а в табл. 112 приведен гранулометрический состав минеральной части смеси.

Таблица 111

Показатели	Нормы по маркам		Показатели	Нормы по маркам	
	I	II		I	II
Пористость минерального состава, % по объему, не более, для смесей:			а) до прогрева водонасыщенных сухих	11/12	7/8
щебенистых	18	18	б) после прогрева водонасыщенных сухих	15/17	10/12
малощебенистых	20	20		10/18	10/13
песчаных	21	21	Коэффициент водоустойчивости, не менее:		
Остаточная пористость, % по объему	5—9	5—9	до прогрева	0,75	0,65
Водонасыщение, % по объему	5—9	5—9	после прогрева	0,90	0,85
Набухание, % по объему, не более	1,2	1,8	Коэффициент водоустойчивости при длительном водонасыщении, не менее:		
Предел прочности при сжатии, кгс/см ² , не менее, при температуре 20° С:			до прогрева	0,5	0,4
			после прогрева	0,75	0,65
			Слеживаемость по числу ударов, не более	10	10

Примечание. В числителе приведены показатели прочности при мелкозернистых (щебенистых и малощебенистых) смесях, в знаменателе — для песчаных.

Таблица 112

Тип смеси	Содержание зерен минерального материала, %, мельче данного размера, мм									Примерный расход битума, % по массе (сверх 100%)
	15	10	5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,075	
Щебенистая	95—100 —	79—58 95—100	49—65 65—75	37—57 48—57	24—39 27—38	14—29 19—29	10—20 13—22	9—16 10—16	6—12 9—13	3,5—5,5
Малощебенистая	95—100	85—90	65—74	57—64	39—49	29—38	22—31	16—22	12—17	3,5—5,5
Песчаная	— —	95—100 —	75—82 95—100	57—70 71—68	38—55 42—68	29—44 26—54	22—35 18—43	16—25 14—30	13—19 12—20	4,0—6,0

Примечание. В случае применения активированных минеральных порошков пределы примерного расхода битума должны быть на 0,5—1,0% снижены.

Гранулометрический состав минеральной части холодного асфальтобетона характеризуется повышенным содержанием минерального порошка и меньшим (по сравнению с горячим асфальтобетоном) содержанием щебня.

Материалы. Для холодного асфальтобетона применяют преимущественно дробленые минеральные материалы, имеющие угловатую форму зерен с шероховатой поверхностью. Это необходимо для повышения внутреннего трения и заклинки зерен минеральных материалов, что частично компенсирует уменьшение прочности асфальтобетона ввиду пониженного сцепления при использовании жидких битумов.

В качестве крупной составляющей для холодного асфальтобетона используют щебень, получаемый дроблением скальных горных пород и металлургических шлаков. Эти материалы должны обладать прочностью при сжатии не менее 800 кгс/см^2 , а для II марки асфальтобетона — не ниже 600 кгс/см^2 . Минеральный порошок и песок для приготовления холодного асфальтобетона применяют те же, что и для горячих смесей.

Жидкие битумы должны иметь вязкость в пределах $C_{60}^5 = 70$ — 130 с , что соответствует маркам СГ-70/130, МГ-70/130, МГ-130/200. Вязкость и класс битума выбирают с учетом предполагаемого срока хранения смеси на складах, температуры воздуха при хранении и применении, а также качества минеральных материалов.

При длительном хранении смеси на складах в открытых штабелях (шесть — восемь месяцев, а иногда и более), а также при использовании ее при пониженных температурах воздуха (в осенний период) или при применении менее прочных и плотных каменных материалов используют битумы пониженной вязкости (ближе к нижнему пределу).

Состав холодного асфальтобетона можно рассчитать по типовым составам (см. табл. 102) или по методике, применяемой для расчета асфальтобетона горячего типа с обязательной проверкой физико-механических свойств смесей в лаборатории.

Холодные асфальтобетонные смеси приготавливают, как правило, на стационарных заводах по циклично-поточной схеме (рис. 180), в которую обычно вводят дополнительные процессы по

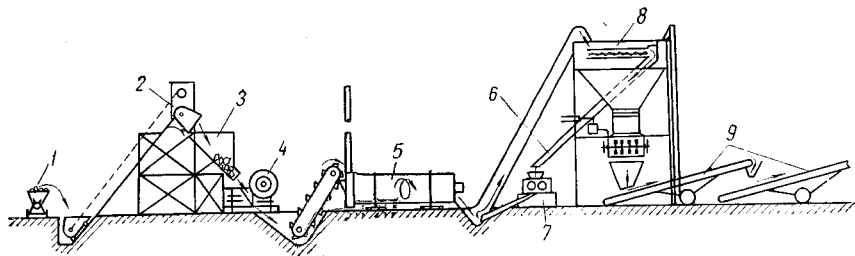


Рис. 180. Технологическая схема приготовления холодной асфальтобетонной смеси: 1 — вагонетки с камнем; 2 — лебедка с ковшом; 3 — бункер для камня; 4 — щековая дробилка; 5 — сушильный барабан; 6 — сыпной лоток; 7 — валковая дробилка; 8 — смесительная установка; 9 — ленточные транспортеры

дроблению каменных материалов для получения необходимого гранулометрического состава минеральной смеси.

Каменный материал поступает из карьера в щековую дробилку, где дробится на щебень с максимальным размером 40 мм. Полученный рядовой щебень холодным элеватором подают в сушильный барабан установки, где он просушивается и нагревается до требуемой температуры. Из сушильного барабана дробленый материал горячим элеватором подают на виброгрохот, с помощью которого отделяются фракции необходимых размеров, попадающие в отсеки бункера. Фракции крупнее нужного размера по сыпному лотку подаются на вторую ступень мелкого дробления в молотковую или валковую дробилку. Мелкие фракции материала после второй ступени дробления поступают снова в горячий элеватор и вместе с другими фракциями подаются на виброгрохот.

Из бункера материалы с необходимой температурой поступают в дозатор, на котором отвешивают отдельные его фракции. Одновременно отвешивают необходимую порцию вяжущего материала. Затем все материалы попадают в лопастную мешалку и перемешиваются до получения однородной смеси. Готовую асфальтобетонную смесь выпускают из мешалки на транспортную линию, по которой ее подают на склад, где смесь может храниться до 12 мес.

Холодную асфальтобетонную смесь уплотняют самоходными катками на пневматических шинах за шесть — восемь проходов по одному следу. При отсутствии самоходных катков первоначально смесь уплотняют обычными моторными легкими катками при трех-четыре проходах катка по одному следу.

Асфальтобетон на битумных эмульсиях получают в результате уплотнения подобранной смеси из щебня, песка, минерального порошка и битумной эмульсии, взятых без предварительного их обезвоживания и подогрева. Асфальтобетон на битумных эмульсиях применяют для устройства усовершенствованных однослойных и двуслойных покрытий на дорогах не выше II категории. Для приготовления этого вида асфальтобетона применяют те же минеральные материалы, что и для приготовления горячего асфальтобетона. Однако к чистоте минеральных материалов надо предъявлять повышенные требования. Минеральные материалы должны быть из горных пород с возможно меньшей пористостью. Смесей приготавливают на медленнораспадающихся эмульсиях с вязкостью $C_{20}^3 = 10$ — 30 с . Эмульсии готовят на битумах БНД-90/130 и БНД-130/200.

Процессы структурообразования асфальтобетона на битумных эмульсиях начинаются на стадии смешения составляющих и заканчиваются в покрытии в процессе его эксплуатации. Структурообразование асфальтобетона на эмульсиях зависит от содержания и концентрации битумной эмульсии, а также от влажности и температуры окружающей среды.

При наличии на поверхности минеральных зерен пленки свободной воды смачиваемость их битумной эмульсией улучшается, что

приводит к более равномерному распределению битума по поверхности каменного материала.

Для приготовления асфальтобетона, как правило, применяют ионогенные эмульсии; анионоактивные, частицы битума которых заряжены отрицательно, и катионоактивные, частицы битума которых заряжены положительно. Анионоактивные эмульсии лучше взаимодействуют с положительно заряженными материалами (кристаллические карбонатные породы), а катионоактивные — с отрицательно заряженными (гранит, кварцевые породы). Благодаря электростатическому притяжению и химическому взаимодействию на поверхности раздела битум — минеральный материал образуются водоустойчивые поверхностные соединения типа кальциевых мыл и аминосиликатов, которые прочно удерживают битумную пленку.

Распад эмульсии происходит в результате взаимодействия эмульсии с минеральными материалами, уменьшения содержания воды за счет испарения и отсоса в поры минеральных материалов, неизбежного интенсивного соударения минеральных зерен и трения между ними в процессе смешения.

Следовательно, окончательное формирование битумной пленки из эмульсии происходит тем быстрее, чем скорее испаряется вода из эмульсии. Заключительной стадией структурообразования асфальтобетона на битумных эмульсиях является уплотнение.

Потребное количество эмульсии определяют по оптимальному содержанию битума, как и для горячих смесей, при этом учитывают концентрацию эмульсии. Оптимальная концентрация эмульсий равна примерно 55—65%, при меньших концентрациях плотность асфальтобетона снижается, а при больших ухудшается качество перемешивания из-за слишком большой вязкости эмульсии.

Смеси на битумных эмульсиях приготавливают в смесителях принудительного действия без подогрева минеральных материалов. Сухие минеральные материалы, особенно с повышенной пористостью (известняки, доменные шлаки и др.) с целью предотвращения комкования смеси и лучшего распределения в ней битума перед введением в них эмульсии должны быть предварительно увлажнены до 2—4%. Наилучшее распределение вяжущего в смеси достигается при дозировании составляющих в такой последовательности: щебень, песок, эмульсия, минеральный порошок. Время перемешивания смеси зависит от влажности материалов, вязкости эмульсии, содержания минеральных составляющих и в каждом конкретном случае устанавливается пробными замесами и определяется визуально по изменению цвета смеси. При благоприятных условиях время перемешивания составляет 30—40 с.

Уплотнение смеси начинают легкими катками после того как произойдет распад эмульсии и смесь «схватится», т. е. приобретет достаточную прочность, чтобы выдержать массу катка. Дальнейшая укатка должна проводиться катками на пневматических шинах, а при отсутствии их — тяжелыми жесткобарабанными катками. Наиболее эффективно в начальный период смесь уплотняют площадочными вибраторами.

Асфальтобетон на битумных эмульсиях должен удовлетворять следующим требованиям:

Предел прочности при сжатии, кгс/см ² :	
при +50° С (R_{50}), не менее	5
» +20° С (R_{20}), » »	18
Коэффициент водоустойчивости $\frac{R_{вод}}{R_{20}}$, не менее	0,85
» теплоустойчивости $\frac{R_{20}}{R_{50}}$, не более	3,5
Водонасыщение по объему, %, не более	9,0
Набухание, %, не более	0,5

Для определения свойств асфальтобетона приготавливают образцы размером $d=h=7$ см путем формования на прессе под нагрузкой 400 кгс/см² в течение 3 мин.

Свойства асфальтобетона на битумных эмульсиях могут быть улучшены предварительной обработкой минеральных составляющих активаторами (известью и др.) и введением в смесь в составе эмульсии улучшающих добавок (латекс, поливинилацетатная эмульсия и др.).

§ 98. ЛИТОЙ АСФАЛЬТОБЕТОН

Литой асфальтобетон представляет собой рационально подобранную смесь щебня, песка (дробленного или природного), минерального порошка и битума, приготовленную и уложенную в покрытие в горячем состоянии. От горячего асфальтобетона литой отличается большим содержанием минерального порошка и битума, технологией приготовления и методом укладки. Литой асфальтобетон применяется в качестве дорожного покрытия на автомобильных дорогах, на проезжей части мостов, а также для устройства полов в производственных зданиях.

К положительным свойствам литого асфальтобетона относят: малую массу по сравнению с другими дорожными покрытиями; литой асфальтобетон почти не требует затраты работы на уплотнение; покрытие из литого асфальтобетона благодаря большой плотности и отсутствию пор водонепроницаемо; при реконструкции дороги существующее покрытие из литого асфальтобетона может быть снова использовано в полном объеме и почти без добавления новых материалов. К отрицательным свойствам литого асфальтобетона относится прежде всего вероятность образования вздутий — пузырей на покрытии, трещинообразование при отрицательной температуре воздуха.

Для приготовления литого асфальтобетона применяют мелкий щебень (крупностью до 10 мм), природный или искусственный песок (высевки прочных скальных горных пород). Щебень, высевки и песок должны быть высокосортными, как и для обычного горячего асфальтобетона. В минеральном порошке желательно повышенное содержание частиц мельче 0,071 мм. В качестве вяжущего при-

меняют битумы БНД-40/60 (БН-Ш) и БН-IV и природный асфальт. Природный асфальт на производство поступает в виде брикетов массой 20—32 кг и содержит битума около 12—15%.

Состав литого асфальтобетона рассчитывают в основном так же, как и горячего асфальтобетона, по кривым плотных смесей с коэффициентом сбега 0,80—0,90. Особенностью литого асфальтобетона является повышенное содержание асфальтовяжущего вещества до 25—20% при $\frac{П}{Б} = 2,0—2,5$. Практически в этой дисперсной системе асфальтовяжущее вещество является средой, а минеральные составляющие — дисперсной фазой.

Литая асфальтобетонная смесь готовится в передвижных смесителях с большими лопастными мешалками, стенки которых нагреваются. Емкость мешалки 1,5—3,0 т. Время, потребное на приготовление смеси, в случае загрузки смесителя непрогретыми материалами составляет 6—8 ч. При подогреве составляющих литого асфальтобетона время, потребное на перемешивание, снижается до 1,0—1,5 ч. Температура перемешивания равна 180—220° С. Литую асфальтобетонную смесь при температуре не ниже 150° С укладывают в покрытие, как правило, ручным способом с «разглаживанием» деревянной правилой. Уплотнение литой смеси осуществляется вначале ручным вальком и окончательно легкими (0,5—1,5 т) катками. Для придания шероховатой поверхности покрытию из литого асфальтобетона в ГДР и ФРГ применяют катки с рифлеными вальцами.

§ 99. ДЕГТЕБЕТОН

Дегтебетон представляет собой материал, аналогичный асфальтобетону, в котором в качестве вяжущего применяют каменноугольный деготь. По свойствам дегтебетон уступает асфальтобетону: он обладает меньшей водо-, износо- и теплостойкостью. Свойства дегтебетона изменяются в большей степени, чем асфальтобетона вследствие более интенсивного старения дегтей. Дегтебетон менее пластичен, поэтому больше деформируется в холодное время года.

Дегтебетон подразделяют на два вида: укладываемый в горячем состоянии и укладываемый в холодном состоянии. В зависимости от наибольшей крупности зерен каменного материала дегтебетон подразделяют на крупно-, средне- и мелкозернистый.

Для приготовления дегтебетона применяют те же минеральные материалы, что и для асфальтобетона, и требования к ним аналогичные. В качестве вяжущего применяют дорожный каменноугольный деготь марок Д-5, Д-6, Д-7 и Д-8. Кроме того, можно пользоваться составленными дегтями, приготовленными из каменноугольного пека и каменноугольного масла или пека и сырого дегтя. Расчет состава дегтебетона может быть выполнен так же, как и асфальтобетон, при этом особое внимание должно быть обращено на тщательный подбор количества дегтя, так как небольшое от-

клонение содержания его в смеси заметно влияет на свойства дегтебетона.

Для приготовления горячего дегтебетона применяют дегти с вязкостью, значительно меньшей, чем вязкость битума для соответствующего вида бетона. Пониженная вязкость дегтя обуславливает ослабление внутренних структурных связей, что может быть компенсировано повышением внутреннего трения минеральной части. Для этого необходимо применять каменные материалы с зернами угловатой формы и достаточно шероховатой поверхностью, а также заменять часть или весь природный песок с окатанными зернами на высевки. Следует отметить, что для приготовления дегтебетонных смесей можно применять щебень из более кислых пород (кварцевые песчаники, богатые кварцем граниты и др.).

Дегтебетон применяют для устройства покрытий на дорогах преимущественно III категории и для ямочного ремонта. По санитарно-гигиеническим условиям устройство верхних слоев покрытий из дегтебетона разрешено только вне населенных пунктов. При приготовлении дегтебетонных смесей надо соблюдать специальные правила техники безопасности, обеспечивающие безопасные условия для здоровья рабочих.

Дегтебетонную смесь приготавливают в асфальтобетонных установках. Вследствие пониженной вязкости дегтя обволакивание им зерен минерального материала при перемешивании смесей протекает лучше, чем при применении битумов, в результате чего сокращается время, требуемое для смешения материалов. По этой же причине облегчается уплотнение смесей при устройстве покрытий. Коэффициент уплотнения, представляющий собой отношение толщины слоя уложенной смеси до уплотнения к толщине уплотненного покрытия, может быть принят равным 1,3—1,4. Требования к дегтебетону приведены в табл. 113.

При производстве дегтебетонной смеси необходимо строго соблюдать установленный температурный режим, так как деготь более чувствителен к изменению температуры, чем битум. Поэтому деготь марок Д-5 нагревают до 80—100° С, Д-6, Д-7 и Д-8 — до 100—130° С, минеральные материалы нагревают до 100—130° С. Температура дегтебетонной смеси при выпуске из смесителя должна быть 100—120° С.

Одним из вариантов технологии, значительно упрощающих приготовление дегтебетонных смесей, является вариант, разработанный в ХАДИ. Гранулированный или измельченный глыбовый пек в холодном виде в необходимом количестве вводится в мешалку, в которую предварительно загружаются горячие каменные материалы. Через некоторое время (1,0—1,5 мин) после расплавления пека в мешалку вводят холодное каменноугольное масло или обезвоженный деготь марок Д-4, Д-5. После перемешивания готовую дегтебетонную смесь выгружают в транспортные средства.

Контроль за изготовлением дегтебетонной смеси на заводе и при устройстве дегтебетонного покрытия, а также методы испытания дегтебетона такие же, как и асфальтобетона.

Таблица 113

Показатели	Тип дегтебетона				
	Горячий	Холодный			
		I марка		II марка	
		Без прогрева	После прогрева при 90°С	Без прогрева	После прогрева при 90°С
Предел прочности при сжатии, кгс/см ² : при +50°С (R_{50}), не менее при +20°С (R_{20}), не менее при +20°С в водонасыщенном состоянии ($R_{вод}$), не менее	8 20 20	— 12 8	— Не нормируется 15	— 4 4	— Не нормируется 10
Коэффициент теплоустойчивости $K_t = \frac{R_{20}}{R_{50}}$, не более	4	—	—	—	—
Коэффициент водостойкости $K_v = \frac{R_{вод}}{R_{20}}$, не менее	0,7	0,4	0,65	0,25	0,5
Водонасыщение, % от объема, в пределах Набухание, % от объема, не более	1,5—5 2,0	5—12 3,0	Не нормируется 1,5	5—13 4,0	Не нормируется 2,0
Показатель слеживаемости (количество ударов при +15°С), не более	—	8	Не нормируется	8	Не нормируется

Примечания. 1. Свойства смесей определяют на образцах $d=h=5$ см при уплотнении горячей смеси нагрузкой 300 кгс/см², холодной — нагрузкой 400 кгс/см². Для образцов $d=h=7$ см требуемые показатели предела прочности при сжатии уменьшают на 15%.

2. Время прогрева образцов — 2 ч.

§ 100. БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ И ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ

Битумоминеральные смеси представляют собой материал, приготовленный путем смешения в смесительных установках в нагретом состоянии щебеночных (гравийных) материалов, природного или дробленого песка, минерального порошка и битума, взятых в определенных соотношениях. В зависимости от марки применяемого битума и температуры смесей при укладке в покрытие их подразделяют на следующие виды (табл. 114).

Битумоминеральные смеси в зависимости от наибольшего размера зерен подразделяют на крупнозернистые с размером зерен до 40 мм, среднезернистые — до 20 мм, мелкозернистые — до 15(10) мм, песчаные — до 5 мм.

Таблица 114

Вид смесей	Марка битумов, применяемых в смесях	Температура смеси при укладке, °С, не ниже
Горячие	БНД-40/60, БНД-60/90, БНД-90/130	120
Теплые	БНД-130/200, БНД-200/300	80
Теплые	СГ-130/200, МГ-130/200	50
Холодные	СГ-70/130, МГ-70/130	10

Для приготовления битумоминеральных смесей можно применять минеральные материалы более низкого качества, чем для соответствующих видов асфальтобетона. Так, марка щебня из изверженных и метаморфических горных пород по дробимости при сжатии в цилиндре допускается не ниже 600, а из осадочных не ниже 300. Износ в полочном барабане для щебня из изверженных пород не более 55%, из осадочных — 60%.

В качестве минерального порошка, кроме известнякового, допускается применять отходы асбестоцементного производства, золуноса, фильтрпрессы отходы, пыль-уноса цементных заводов.

Горячие и теплые смеси в зависимости от структуры подразделяют на плотные и пористые. Плотные должны содержать в своем составе частицы мельче 0,071 мм, в пористых содержание этих частиц не обязательно. Показатели физико-механических свойств и структура плотных битумоминеральных смесей (ГОСТ 17060—71) должны соответствовать следующим величинам (табл. 115). Как видно из приведенных данных, требования к битумоминеральным смесям принципиально не отличаются от требований, предъявляемых к асфальтобетону. Важным показателем качества смеси является ее водостойкость вследствие использования гидрофильных материалов и минеральных порошков, склонных к набуханию в воде. Поэтому при изготовлении битумоминеральных смесей следует применять добавки поверхностно-активных веществ к битуму, а также предварительную обработку минеральных материалов активаторами.

Гранулометрический состав минеральной части смеси должен обеспечивать ее оптимальную плотность. Состав минеральной части рассчитывают так же, как и для асфальтобетонов. Оптимальное количество вяжущего в смесях определяют лабораторным подбором по максимальным показателям прочности образцов при сжатии, особенно в водонасыщенном состоянии, и водонасыщения.

Горячие и теплые битумоминеральные смеси применяют для устройства покрытий и оснований на дорогах III и IV категорий. Холодные смеси применяют для тех же целей на дорогах IV и V категорий.

На территории Крыма накоплен значительный опыт применения битумоминеральных смесей для устройства покрытий на дорогах I и II категорий.

Смеси готовят из однородных по минералогическому составу дробленых известняков и диоритов в ряде случаев без добавления минерального

Таблица 115

Показатели	Смеси				
	Горячие		Теплые		Холодные
	Марки смесей				
	I	II	I	II	I
Остаточная пористость, % по объему	3—5	3—5	4—6	4—6	5—10
Водонасыщение, % по объему	1,0—3,0	1,0—3,0	1,5—4,0	2,5—5,0	3,0—9,0
Набухание, % по объему, не более	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0
Предел прочности при сжатии, кгс/см ² , для смесей всех типов:					
при +20° С (R_{20}), не менее	20	16	18	14	12
при +50° С (R_{50}), не менее	10	8	8	6	—
Коэффициент водостойкости, не менее	0,80	0,70	0,70	0,60	0,50
Коэффициент длительной водостойкости, не менее	0,70	0,60	0,60	0,50	0,40
Слеживаемость по числу ударов, не более	—	—	—	—	100

Примечание. Пределы прочности R_{20} и R_{50} даны для образцов из мелкозернистых смесей с высотой h и диаметром d , равным 71,4 мм. Для образцов из песчаных смесей с размерами $h=d=50,5$ мм эти показатели должны быть увеличены на 20%, а для образцов из среднезернистых смесей с размерами $h=d=101$ мм уменьшены на 20%.

порошка. Вяжущим служит битум БНД-90/130 или БН-III, пластифицированный каменноугольным дегтем Д-3 до пенетрации 100. Деготь служит также добавкой, улучшающей обволакивание минеральных зерен вяжущим. Покртия устраивают из битумоминеральных смесей таких составов (табл. 116).

Таблица 116

Состав	Содержание зерен минерального материала, %, мельче данного размера, мм											Плотность, г/см ³
	25	20	15	10	5	3	1,25	0,63	0,15	0,14	0,075	
Среднезернистый	95—100	87—93	76—84	60—70	35—50	24—38	13—24	8—17	4—12	2—8	0—5	4,0—6,5
Мелкозернистый	—	—	95—100	70—82	40—50	28—42	17—30	12—24	7—18	3—12	0—8	5,5—6,5

Эти смеси обладают следующими свойствами: предел прочности при сжатии при 20°С — не менее 25 кгс/см², при 50°С — не менее 10—12 кгс/см², коэффициент водостойкости — не ниже 0,85, водонасыщение — 3—6%, остаточная пористость — 4—8%.

Характерной особенностью битумоминеральных смесей, применяемых в Крыму, является повышенное содержание щебня (50—65%), ограниченное количество зерен мельче 0,075 мм и как следствие повышенная остаточная пористость (до 9%). В этих битумоминеральных смесях формируется структура, которая обеспечивает плотный контакт по щебенкам, образующим пространственный каркас.

Этим объясняется высокая сдвигоустойчивость покрытий на автомобильных дорогах с большими уклонами и интенсивным движением.

Водостойкость покрытия, несмотря на большое водонасыщение (до 7%), вполне удовлетворительна, что объясняется малым количеством осадков. Через два-три месяца эксплуатации покрытия из битумоминеральной смеси водонасыщение снижается до 3—5%.

Черный щебень. Щебень, обработанный органическим вяжущим, называется черным. Этот материал находит применение для устройства покрытий на дорогах II—IV категорий, а также для устройства оснований.

По вязкости битума и способу укладки черный щебень разделяют на три вида: горячий, изготавливаемый на битумах БНД-60/90, БНД-90/130 и дегте Д-7 и укладываемый в горячем состоянии при 120—140°С;

теплый, изготавливаемый на битумах БНД-130/200, БНД-200/300, СГ-130/200 и дегте Д-6 и укладываемый в теплом состоянии при 50—80°С;

холодный, изготавливаемый на жидких битумах МГ-130/200, МГ-70/130 и дегте Д-5 и укладываемый в холодном состоянии в сухую погоду при температуре воздуха 10—25°С. Для приготовления черного щебня применяют щебень, полученный из горных пород с прочностью не ниже 800 кгс/см².

Обработанный вяжущим щебень по крупности делят на: крупный размером 40—25 мм; средний — 25—15 мм; мелкий — 15—5 мм; высевки — мельче 5 мм.

Количество вяжущего в смеси в зависимости от крупности щебня и свойств (плотности, характера поверхности) принимают в пределах 2—4% по массе.

Черный щебень готовят в смесительных установках с принудительным или свободным перемешиванием. Технология устройства слоев одежды из черного щебня включает подготовку основания, распределение щебня фракции 40—25 мм, уплотнение, россыпь щебня фракции 15—25 мм, уплотнение, расклиновку поверхности мелким щебнем 15—5 мм и уплотнение.

§ 101. БИТУМОГРУНТОВЫЕ И ДЕГТЕГРУНТОВЫЕ СМЕСИ

Применение грунтов и природных гравийных или песчаных материалов в качестве минеральной части битумо- и дегтегрунтовых смесей имеет большое экономическое значение.

В зависимости от предъявляемых к смесям требований и качества исходных материалов грунты и другие природные материалы могут быть использованы в смесях в естественном виде или с добавками других материалов (песка, гравия, щебня и др.). Для изготовления этих смесей применяют вязкие и жидкие вяжущие.

Скелетные битумо- и дегтегрунтовые смеси готовят из грунтов со скелетными добавками. К таким смесям относят черный грунтощебень, черный грунтогравий и др. Эти смеси, как правило, готовят на жидких битумах смешением материалов на по-

Таблица 117

Показатели	Обработка материалов	
	жидкими битумами или дегтями (для образцов 7-суточного возраста)	жидкими битумами или дегтями с добавками или битумными эмульсиями (для образцов 10-суточного возраста)
Предел прочности при сжатии сухих образцов при 20° С, кгс/см ² , не менее	8	15
То же, при сжатии водонасыщенных образцов при 20° С, кгс/см ² , не менее	5 5	9 8
Набухание, %, не более	3	2

Таблица 118

Показатели	Грунты, укрепленные					
	жидкими битумами или дегтями		жидкими битумами или дегтями с применением добавок		битумными эмульсиями	
	Нижние слои оснований	Верхние слои оснований или покрытий	Нижние слои оснований	Верхние слои оснований, покрытий	Нижние слои оснований	Верхние слои оснований, покрытий
Предел прочности при сжатии сухих образцов, кгс/см ² : при 20° С, не менее	Не определяется	8	Не определяется	12	Не определяется	15
при 50° С, не менее	То же	5	То же	7	То же	8
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при 20° С, кгс/см ² , не менее	»	4	»	6	»	7
Капиллярное водонасыщение, % по объему, не более	6	Не определяется	4	Не определяется	5	Не определяется
Набухание, %, не более	Не определяется	6	Не определяется	4	Не определяется	4

Примечания. 1. Показатели даны для образцов 7-суточного возраста при укреплении битумами, дегтями и применении добавок; для 10-суточного возраста — при укреплении битумными эмульсиями.

2. Набухание в IV—V дорожно-климатических зонах не определяется.

3. Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в IV—V дорожно-климатических зонах — при капиллярном водонасыщении образцов.

4. Грунты, укрепленные жидкими битумами и дегтями без добавок, применяются в III—V дорожно-климатических зонах преимущественно в нижних слоях оснований, а также в покрытиях на дорогах с небольшой интенсивностью движения.

лотные дороги при помощи передвижных смесителей, фрез, автогрейдеров.

Нескелетные битумо- и дегтегрунтовые смеси приготавливают путем обработки грунтов органическими вяжущими. Горячие смеси с применением вязких битумов обладают более высокими физико-механическими свойствами и приближаются по свойствам к песчаному асфальтобетону. Их приготавливают из супесчаных, суглинистых грунтов путем обработки жидким битумом или дегтем. Наилучшие результаты получаются при оптимальном гранулометрическом составе грунта. Эти смеси применяют в горячем состоянии для устройства оснований и в отдельных случаях верхних слоев покрытий облегченного типа.

Грунтогравийные и грунтощебеночные смеси, укрепленные органическими вяжущими материалами, должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 117.

Битумо- и дегтегрунтовые смеси должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 118. Лучшими физико-механическими свойствами обладают смеси, изготовленные из супесчаных грунтов. При использовании песков необходима добавка пылеватых фракций грунта в таком количестве, чтобы пылеватых частиц в минеральной части смеси содержалось около 25—30%. В связных грунтах имеет значение их агрегатность (наличие комочков, сцементированных коллоидно-глинистым веществом).

ГЛАВА XII

Рулонные и листовые кровельные и гидроизоляционные материалы

§ 102. РУЛОННЫЕ БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для производства битумных кровельных (и гидроизоляционных) материалов применяют специальный рулонный или асбестовый картон, нефтяные битумы и посыпочные порошкообразные материалы. Специальный кровельный картон изготавливают из смеси размолотых растительных волокон: тряпья, макулатуры и целлюлозы. Картон выпускают шириной 750, 1000 и 1025 мм, прочностью на разрыв не менее 17—22 кгс (полоски картона шириной 50 мм); картон должен обладать хорошей пропитываемостью. В зависимости от назначения кровельные материалы делят на *покрывные*, или *основные* и *беспокровные*, или *подкладочные*.

Рубероид представляет собой рулонный кровельный (мягкая кровля) и гидроизоляционный материал, изготавливаемый из специального картона, пропитанного с обеих сторон вначале легкоплавким, а затем тугоплавким нефтяным битумом с температурой размягчения 85—95° С с наполнителем (или без него) и последующей посыпкой поверхности смесью песка с минеральным порошком, тальком, слюдой или крупнозернистым материалом.

Показатели	Марка рубероида					
	РМ-350	РЧ-350	РОМ-350	РГМ-420	РГМ-350	РБ-420
Предел прочности при растяжении полосы шириной 50 мм, кгс, не менее	32	32	30	32	30	34
Гибкость при $18 \pm 2^\circ \text{C}$ (при изгибании полосы по окружности не должно появляться трещин в покровном слое при диаметре стержня), мм	20	20	20	20	20	30
Теплостойкость обеспечивается за 5 ч при температуре, $^\circ \text{C}$	70	70	70	70	70	80
Потеря массы после прогрева 5 ч при $t=70^\circ \text{C}$, %, не более	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—
Водонасыщаемость, %, не более	5	5	8	5	5	—
Водонепроницаемость, атм	—	—	—	0,7	0,7	0,7

Примечание. РМ — рубероид с двусторонней мелкой посыпкой; РЧ — с чешуйчатой посыпкой; РОМ — с односторонней мелкой посыпкой; РГМ — с гидрокамовой пропиткой; РБ — с крупнозернистой посыпкой.

Посыпку наносят ровным слоем на всю поверхность, за исключением кромки шириной 7—10 см с одной стороны вдоль всей длины ленты для перекрытия швов внахлестку. Посыпку применяют для устранения слипаемости в рулоне, для повышения погодоустойчивости и придания декоративности. В зависимости от вида посыпки различают рубероид с крупнозернистой и мелкозернистой или чешуйчатой посыпкой. Рубероид выпускают рулонами шириной от 65 до 105 см, общей площадью 20 м², массой рулона 17—30 кг (в зависимости от толщины картона). Качество рубероида характеризуют следующими показателями (табл. 119).

Производство рубероида состоит из следующих технологических операций: подогрев битума, просушка и протягивание картона через пропиточную ванну с легкоплавким битумом, отжим излишнего битума между вальками машины, затем протягивание пропитанного картона через другую ванну с тугоплавким битумом для нанесения второго покровного слоя битума; посыпка минеральным материалом и протягивание ленты через прижимные валки для лучшего приклеивания зерен порошка к поверхности картона; охлаждение ленты, разрезание рулона на куски требуемой длины и скатывание их в рулоны. В пропиточной ванне полотно картона может продвигаться

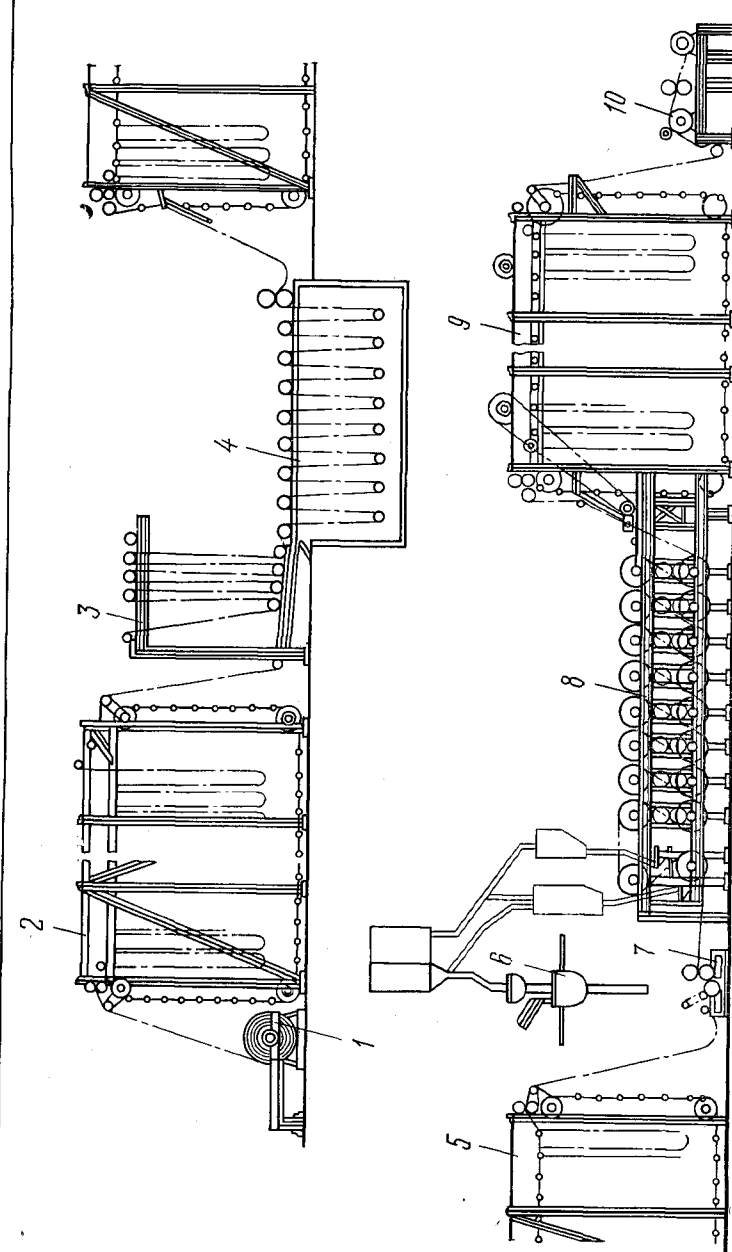


Рис. 181. Технологическая схема производства рубероида:

1 — станок для размотки картона; 2 — магазин запаса картона; 3 — установка предварительного подогрева картона; 4 — пропиточная ванна; 5 — обогреваемая камера до пропитки; 6 — смеситель; 7 — покровный лоток; 8 — послепро-хладительная секция агрегата; 9 — магазин запаса готового материала; 10 — сматывающий станок

гаться горизонтально или вертикально (рис. 181). Последний способ более прогрессивный, так как при вертикальном движении полотна картон периодически выходит из горячей массы и вновь погружается в нее, что способствует испарению влаги и прониканию битума в поры картона.

Пергамин — кровельный и гидроизоляционный материал, который изготавливают из кровельного картона, пропитанного легкоплавким нефтяным битумом без покровного слоя и без присыпки. Производство пергаминя осуществляют по той же, но несколько упрощенной технологии, что и рубероида (нет ванны с покровным битумом, нет посыпочно-го бункера и проще холодильные устройства). Пергамин выпускают рулонами шириной от 65 до 105 см, площадью 20 м² и массой рулона от 5 до 19 кг. Пергамин применяют как подкладочный материал для нижних слоев многослойных кровельных покрытий, а также для паро- и гидроизоляции. Качество пергаминя определяют следующими показателями: температура размягчения пропиточной массы должна быть 40—53°С (по кольцу и шару), масса пропиточной части по отношению к абсолютному сухому картону 1,25:1, сопротивление разрыву не менее 27 кгс, пергамин должен обладать достаточной гибкостью, водопоглощение через 24 ч при температуре воды 35°С — не более 22% и водопроницаемость под давлением столба воды высотой 5 см должна быть не менее пяти суток.

Толь кровельный покровный — рулонный картон, пропитанный каменноугольным дегтем с температурой размягчения 34—40°С и имеющий покровный слой из тугоплавких дегтей с наполнителем. Толь на нижней поверхности имеет посыпку из мелкозернистого песка, а с лицевой стороны — крупнозернистую. Толь выпускают рулонами шириной 65—105 см, общей площадью 20 м², массой 11—15 кг.

Толь кровельный беспокровный — рулонный картон, пропитанный каменноугольным дегтем с температурой размягчения не ниже 34°С; после отжатия излишнего дегтя на валках машины ленту охлаждают и скатывают в рулоны. Толь беспокровный выпускают рулонами шириной от 60 до 105 см, общей площадью 20 м² и массой 8—20 кг. Водонепроницаемость толя покровного характеризуется тем, что слой воды высотой 5 см не проникает в течение пяти суток; водонасыщаемость под вакуумом в течение 5 мин не выше 20% по массе; прочность при растяжении — не менее 23—28 кгс. При изгибании полосы толя по окружности стержня диаметром 20 мм при температуре 18°С не должно появляться трещин и осыпания посыпки. Толь покровный применяют в верхний слой мягкой кровли. В качестве подкладочного материала служит толь беспокровный. Для увеличения срока службы кровли верхний слой периодически покрывают горячим или разжиженным дегтем с последующей посыпкой мелкозернистым песком. Толь беспокровный применяют и как гидроизоляционный материал.

Гудрокамовый или гидроизоляционный рубероид (РГМ) изготавливают путем пропитки с обеих сторон кровельного картона гудро-

камом (продуктом окисления в специальных установках смеси нефтебитума с антраценовым маслом). Гудрокам — вещество черного цвета с раковистым изломом и температурой размягчения (по К и Ш) 65—75°С. Гудрокамовый кровельный материал выпускают в рулонах массой 30 кг, шириной полотна 650—1050 мм и площадью 20 м² с количеством пропиточной массы не менее 600 г/м². Он гибок и теплостоек; обладает водонасыщением при 35°С не более 2%, прочностью при разрыве стандартной полоски не менее 30 кгс.

Дегтебитумные кровельные материалы изготавливают способом пропитки кровельного картона дегтем, а затем покрытием его с обеих сторон нефтяным битумом с последующей минеральной посыпкой: крупнозернистый (ДББ) или чешуйчатой (ДБЧ) — для верхних слоев кровельного ковра и мелкозернистой (ДБМ) — для подкладочных слоев, гидро- и паронизации.

Дегтебитумные кровельные материалы выпускают шириной полотна 650—1050 мм и площадью 20 м². Свойства этих материалов следующие: марка ДБ-350, масса рулона не менее 30 кг, количество покровной массы не менее 600 г/м², водонасыщение при 35°С не более 5%, прочность при растяжении стандартной полоски не менее 30 кг. Материал теплостоек, гибок.

§ 103. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Специальные гидроизоляционные материалы делят на *обмазочные, оклеечные и пластичные*. Для обмазочной гидроизоляции применяют холодные окраски и горячие обмазки. В качестве холодных окрасок используют битумы III и IV марок, разжиженные легкоулетучивающимися растворителями, а также дегтевые лаки. Холодные окраски образуют тонкий изоляционный слой.

Для горячих обмазок применяют мастики, например смесь битума с мелким асбестовым волокном (20—30%). Для лучшего сцепления поверхность, на которую наносится обмазка, предварительно подсушивается и подгрунтовывается разжиженным битумом или эмульсией. Горячие обмазки наносят тонким равномерным слоем в горячем состоянии. К оклеечным гидроизоляционным материалам относят:

гидроизол — асбестовый или асбестоцеллюлозный рулонный картон, пропитанный нефтяным битумом с температурой размягчения не ниже 50°С. Гидроизол применяют для многослойной гидроизоляции подземных элементов сооружений; этот материал более долговечен, чем рубероид;

ткани гидроизоляционные (хлопчатобумажные, джутовые, асбестовые), пропитанные нефтяным битумом с температурой размягчения не ниже 50°С. Ткани, пропитанные битумом с двух сторон, называют *метроизолом*; их применяют для многослойной гидроизоляции в сочетании с гидроизолом для подземных элементов сооружений, трубопроводов и для сооружений, подвергающихся ударным воздействиям;

металлоизол — алюминиевая фольга толщиной 0,2 мм, покрытая с обеих сторон нефтяным битумом с температурой размягчения не ниже 65°С. Этот материал применяют для гидроизоляции подземных элементов сооружений и гидротехнических сооружений 1-го класса. Укладывая металлоизол в дело, необходимо следить за тем, чтобы не повредить тонкий слой битумной обмазки, которая защищает металл от коррозии.

К пластичным гидроизоляционным материалам относят *борулин*, состоящий из смеси мелкого асбестового волокна и нефтяного битума (температура размягчения 65—70°С), прокатанной в полотно площадью 5 м². Такой материал на битуме, разжиженном маслами, называют *пластифицированным борулином*.

Подобные гидроизоляционные материалы изготавливают и из смеси битума с торфяным порошком (*борулин торфяной*), древесными опилками (*борулин опилочный*), хлопковым орешком (*борулин орешковый*). Если взамен битума применяют каменноугольные дегти, гидроизоляционные материалы соответственно называют *борулин пекоасбестовый*, *пекоторфяной*, *пекоопилочный* и *пекоорешковый*. Борулин — пластичный материал и хорошо приклеивается к изолируемой поверхности, что придает изоляционному слою устойчивость против температурных воздействий и воды. Борулин применяют для подземной и подводной гидроизоляции, а также для заделки температурных и усадочных швов в гидротехнических сооружениях.

Для заделки температурных швов в цементобетонных дорожных покрытиях более эффективным материалом является смесь нефтяного битума, минерального порошка до 15% и порошкообразных резиновых отходов до 7%. Такой материал применяют в горячем и холодном состоянии. В последнем случае битум разжижают керосином, соблюдая при этом правила техники безопасности.

Более совершенным материалом для указанной цели являются пластмассовые материалы, например, ленты — прокладки из поливинилхлорида. В качестве эффективных гидроизоляционных материалов в последние годы начали применять стеклянные (или текстильные) ткани, пропитанные полиизобутиленом, рулонные пленки из полиэтиленовых смол и др.

Перевозка и хранение. При перевозке рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов их устанавливают на торец не более чем в два ряда по высоте с обязательной прокладкой досками между рядами и защитой от воздействия солнечных лучей и атмосферной влаги. Рулоны хранят стоймя в закрытых сухих помещениях, защищенных от солнца и влаги. В случае непродолжительного хранения на воздухе рулоны хранят на сухих площадках, защищенных от воздействия солнца и влаги.

§ 104. ПРИКЛЕЕЧНЫЕ МАСТИКИ

Приклеечные мастики применяют для приклеивания рулонных и плиточных кровельных и гидроизоляционных материалов к деревянным настилам, кирпичу и цементной стяжке по бетонной поверх-

ности. Мастики делят на *битумные* и *дегтевые*, а по способу применения — на *горячие* и *холодные*. Для приклеивания рубероида и пергамина применяют битумные мастики; толь приклеивают дегтевыми мастиками.

Горячие битумные мастики разогревают до 160—180°С, а дегтевые — до 130—150°С; при нанесении на поверхность они должны образовывать ровный тонкий слой толщиной до 2 мм. При +18°С горячие мастики должны обладать твердой консистенцией, а при 100°С — не вспениваться (для этого их обезвоживают) и сохранять однородность. При приготовлении и использовании мастик необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и противопожарные мероприятия.

Необходимая теплостойкость мастик обеспечивается введением в них минерального порошка, количество которого устанавливается лабораторным подбором и бывает примерно в следующих пределах: волокнистого до 20%, пылевидного до 30 и комбинированного (волокнистого + пылевидного) до 40%. В качестве минерального порошка применяют те же материалы, что и для изготовления асфальтобетонных смесей. При лабораторном подборе состава мастик определяют их теплостойкость при 45°С, гибкость при 20°С, клеящую способность и однородность.

Холодные мастики представляют собой вязкую смесь разжиженного зеленым маслом или лакойлем нефтяного битума и минерального порошка; они должны быть однородны по составу, при +18°С вязкими, обладать способностью при перемешивании разжижаться и загустевать в состоянии покоя. Качество холодных мастик определяют теплостойкостью при 70°С, консистенцией при 20°С, гибкостью при 10°С, липкостью при 20°С и сроками схватывания в сутках. Качество мастик (их липкость) может быть улучшено введением в битум или деготь до 10—15% отходов коксохимического производства — нефтеполимерной смолы (продукт переработки кубовых остатков пиролизной смолы) и соответственно каменноугольной смолы (продукт кубовых остатков ректификации сырого бензола).

Для грунтовки поверхности применяют битумные и дегтевые грунтовки, которые представляют собой жидкий раствор битума или каменноугольного пека и растворителя (зеленого масла, лакойля, полихлоридов бензола, керосина); керосин применяют только для битума. Для грунтовки свежесушеной цементной стяжки могут быть использованы грунтовки составов: вязкий битум БН-IV и БН-V — 40% и зеленое масло — 60%; битум БН-III — 55% и зеленое масло — 45%; битум БН-IV или БН-V — 35% и лакойль — 65%; пек — 45% и зеленое масло — 55%. Для грунтовки созревшей цементной стяжки применяют чуть более вязкие грунтовки, например, битум марки БН-IV или БН-V — 50% и зеленое масло — 50%. Грунтовку металлических поверхностей производят менее вязкими составами, например битум марки БН-IV или БН-V — 30% и зеленое масло — 70%. В последние годы для грунтовки поверх-

ности свежесушеной цементной стяжки применяют также битумные или дегтевые эмульсии.

К работам с мастиками и грунтовками (в особенности при их изготовлении) рабочие допускаются только после ознакомления с правилами техники безопасности и противопожарной безопасности.

При приготовлении мастики в целях противопожарной безопасности необходимо котел загружать не более $\frac{2}{3}$ по высоте; запасы топлива и растворителей хранить в отведенных местах на расстоянии не менее 25 м от котла; при введении растворителя в котел предварительно удалить топливо из топки и затушить его водой. Огнетушители и ящики с песком и лопатами должны быть вблизи котлов и иметь свободный доступ к ним. В случае вспышки массы в котле необходимо закрыть котел металлической крышкой и прекратить топку; вытекающую из котла массу засыпать песком и залить пеной из огнетушителя. Нельзя горящую массу заливать водой. Для курения должны быть оборудованы специальные места. Обслуживающий персонал должен быть снабжен специальной одеждой и перчатками. До начала работы надо смазать лицо и руки пастой (смесь окиси цинка, талька и воды в равных частях и 3% салол). После работы необходимо вымыть лицо и руки горячей водой с мылом.

ГЛАВА XIII

Строительные материалы из древесины

§ 105. СТРОЕНИЕ ДЕРЕВА

Дерево относится к многолетним растениям. В нем различают ствол, ветви, листья и крону. Листья и ветви образуют крону дерева. Корни служат для укрепления дерева в грунте, а также для всасывания влаги и растворенных в ней минеральных веществ и передвижения их по стволу. Ствол удерживает крону дерева и служит для перемещения воды и солей от корней к листьям, а от листьев в обратном направлении к корням органических веществ, которые частично откладываются в стволе.

Ствол составляет главную массу дерева (от 50 до 90% объема) и является основной частью для строительных целей; корни составляют от 5 до 25% и ветви — от 5 до 20% объема дерева. Дерево по мере роста обычно освобождается в нижней части от веток, ствол же увеличивается в длину и в диаметре. Ствол, имеющий форму, приближающуюся к цилиндру, называется *полнодревесным*, а при значительном уменьшении диаметра ствола от комля к вершине — *сбежистым*. Прирост ствола в длину и по диаметру вначале происходит довольно быстро, но после достижения некоторого возраста постепенно уменьшается.

Анатомические элементы дерева. Как и всякое растение дерево состоит из *клеток* (рис. 182). Каждая молодая клетка состоит из оболочки 1 и находящейся в ней протоплазмы 2. Внутри

протоплазмы обычно находится одно ядро 3 (встречаются и многоядерные клетки). В процессе роста клетки протоплазма расходуется и в ней образуются полости (вакуоли) 4, которые заполняются клеточным соком. В дальнейшем отдельные вакуоли постепенно сливаются в одну общую и оттесняют протоплазму к оболочке клетки. Кроме протоплазмы, ядра и вакуолей с клеточным соком, в клетках находятся еще так называемые *пластиды* — бесцветные или окрашенные образования.

Протоплазма представляет собой зернистую, прозрачную, тягучую слизь (растительный белок). *Ядро* имеет обычно овальную форму, в нем находятся одно или несколько блестящих ядрышек и тонкие нитеобразные белковые вещества, которые называются *хроматинами*. Ядро так же, как и протоплазма, состоит из сложного белкового соединения.

Пластиды в зависимости от окраски делятся на лейкопласты — бесцветные пластиды, хромопласты — с желтым и оранжевым пигментом и хлоропласты, содержащие зеленый пигмент, который называется *хлорофиллом*. Хлорофилловые зерна находятся преимущественно в листьях и под влиянием солнечных лучей превращают углекислый газ воздуха в соединении с веществами клеточного сока в различные органические соединения (углеводы, белки, жиры). Растения, лишенные хлорофилла, сами не могут вырабатывать необходимые для жизни растения органические соединения и поэтому вынуждены паразитировать.

Клеточный сок, заполняющий вакуоли, представляет собой водный раствор различных веществ: углеводов, пигментов, дубильных веществ и свободных органических кислот.

Оболочка в основном состоит из целлюлозы или клетчатки ($C_6H_{10}O_5$). В клеточной оболочке наблюдается слоистость. Материал оболочки образуется за счет распада протоплазмы, поэтому по мере роста клетки количество протоплазмы в ней уменьшается. Более старая оболочка клетки содержит больше минеральных веществ. По мере окончания роста клетки происходит постепенное утолщение оболочки за счет нарастания последующих слоев. Иногда утолщение бывает настолько велико, что внутри клетки оболочка имеет тонкие поры. Оболочка претерпевает различные изменения в строении и составе, в результате чего происходит ее одревеснение или пробкование, или ослизнение.

При одревеснении в оболочке клетки образуется особое вещество — лигнин, который содержит значительное количество углерода;

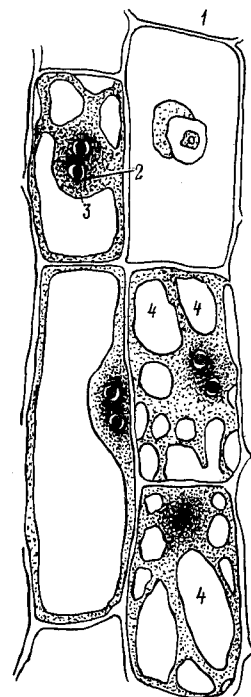


Рис. 182. Клетка древесины

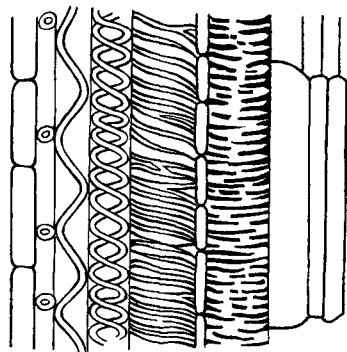


Рис. 183. Механические ткани древесины

яется в воде. Если ослизнется часть оболочки, создаются сосуды, которыми клетки соединяются между собой, образуя сосуды.

Хотя клетки плотно прилегают друг к другу и соединены между собой межклеточным веществом, но между ними образуются межклеточные пространства, заполняющиеся выделениями клеток (например, у хвойных пород — смолой). Кроме смоляных ходов, могут быть воздухоносные межклеточные ходы. По форме клетки делятся на *паренхиматические*, имеющие примерно одинаковую величину в трех измерениях, *прозенхиматические*, вытянутые в одном направлении, и *таблицеобразные*, разбитые в двух направлениях.

Ткани. Клетки в молодых растущих частях дерева сходны между собой, но по мере дальнейшего роста дерева они специализируются, причем группы одинаковых клеток объединяются в ткани. Ткани в зависимости от выполняемых ими в жизни дерева функций делятся на образовательные, кроющие, механические и проводящие.

Образовательные ткани находятся в точке роста стебля растения и состоят из тонкостенных (с большим количеством протоплазмы) паренхимных клеток. Эта ткань служит в дальнейшем для образования других тканей.

Кроющие ткани молодых стеблей и листьев покрыты эпидермисом, клетки которого по мере роста сменяются кроющей пробковой тканью.

Механические ткани (рис. 183) служат для придания элементу растения определенной механической прочности. Эта ткань состоит из одревесневших клеток и служит для увеличения прочности только молодых еще растущих частей дерева. Клетки этой ткани обладают сравнительно высокой механической прочностью и сильно вытянуты, а поэтому и называются *волокнами*.

Проводящие ткани имеют назначение проводить влагу с растворенными в ней минеральными и органическими соединениями. Эти ткани состоят из *сосудов* и *сосудовидных клеток*. Трахеи обра-

увеличивается также ее прочность и твердость, но уменьшается упругость, способность к разбуханию и пр. Одревенение клеток происходит преимущественно в стволе.

Опробкование сопровождается образованием в оболочке клетки вещества более бедного кислородом, чем лигнин. В результате опробкования клетка хорошо противостоит гниению и становится непроницаемой для воды и газов. Опробкованию подвергаются обычно клетки на поверхности ствола и веток растения.

Ослизнение сопровождается превращением всей оболочки или части ее в камедь, или слизь, которая растворяется в воде.

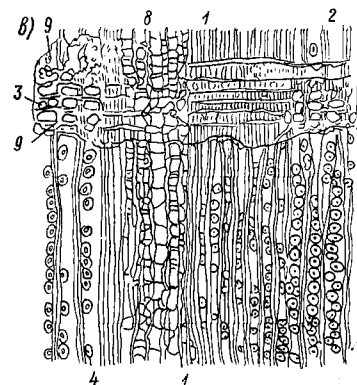
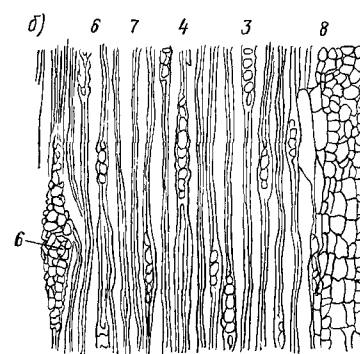
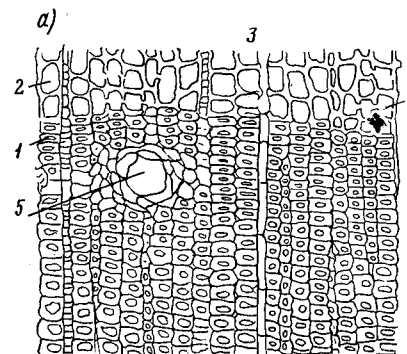


Рис. 184. Разрезы ствола сосны:

a — поперечный (или торцовый); *б* — тангенциальный продольный (по хорде); *в* — радиальный продольный (по диаметру или радиусу);

1 — поздние трахеиды; *2* — ранние трахеиды; *3* — сердцевинные лучи; *4* — окаймленные поры; *5* — смоляной ход; *6* — сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом; *7* — трахеиды; *8* — вертикальный смоляной ход; *9* — горизонтальные трахеиды в сердцевинном луче

зуются при слиянии в один общий сосуд вертикальных клеток, причем поперечные перегородки их полностью или частично исчезают. *Сосуды* характерны для древесины лиственных пород. *Сосудовидные клетки* представляют собой длинные клетки, полости которых не соединяются между собой. Древесина хвойных пород состоит почти исключительно из сосудовидных клеток. Проводящие ткани заполнены водой с растворенными в ней различными веществами и воздухом.

Ткани, проводящие органические вещества по растению, состоят из *ситовидных трубок* и *млечных сосудов*. Ситовидные трубки состоят из вытянутых клеток, перегородки между которыми имеют мелкие отверстия, как у сита. Проводящие ткани собраны в древесине в особые *сосудисто-волокнистые пучки*, в которых вокруг сосудов расположены механические элементы. На рис. 184 показаны разрезы ствола древесины сосны.

Строение древесного ствола. В поперечном и радиальном разрезах ствола различают следующие основные части: *кору*, *луб*, *камбий*, *древесину* и *серцевину* (рис. 185).

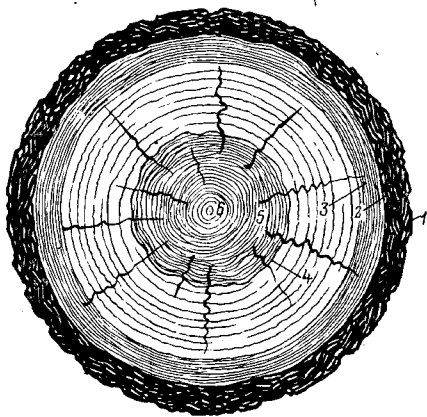


Рис. 185. Торцовый разрез ствола:
1 — кора; 2 — луб; 3 — камбий; 4 — заболонь; 5 — ядро; 6 — сердцевина

Кора служит для защиты дерева от неблагоприятных влияний внешней среды. Она состоит из клеток с опробковавшейся оболочкой. У различных пород кора составляет от 7 до 20% объема ствола, причем с увеличением толщины дерева относительный объем коры уменьшается. Из коры некоторых пород деревьев (пробковый дуб, бархатное дерево и др.) изготавливают пробку, теплоизоляционные изделия, дубильные вещества и пр.

Луб — тонкая внутренняя часть коры, обычно светлого цвета, состоит из ситовидных трубок и лубяных волокон и служит для перемещения органических веществ, выработанных листьями (нисходящий ток), а также для откладывания запасов питательных веществ. У некоторых хвойных пород (пихта, ель и др.) имеются смоляные вместилища.

Камбий располагается непосредственно за лубом в виде тонкого слоя жизнедеятельной ткани. Каждая клетка камбия при размножении делится на две, одна из которых, более тонкостенная, располагается по направлению к периферии ствола, а другая клетка, толстостенная и одеревеневшая, располагается по направлению к сердцевине. В период роста (весной) камбий усиленно образует широкие клетки с тонкой оболочкой, так называемую *весеннюю древесину*, назначение которой — быстрее проводить влагу и питательные вещества, нужные дереву с наступлением вегетационного периода, когда оно нагружено развивающимися побегами и листьями.

Камбий образует и механическую ткань, состоящую из толстостенных сплюснутых клеток, которые и составляют главную часть *летней древесины*.

Образовавшиеся, таким образом, в течение вегетационного периода слои весенней и летней древесины называются *годовыми слоями*, или *кольцами*. У многих пород, например у дуба, они хорошо видны на торцовом разрезе ствола в виде концентрически расположенных слоев. Ширина годовых слоев у разных древесных пород различна. Например, тис обладает узкими слоями, тополь широкими (до 1 см).

Ширина годовых слоев у каждой породы зависит от природных условий (почвенных и климатических), освещенности, режима грунтовых вод и т. д. По числу годовых слоев можно ориентировочно судить о возрасте дерева.

Древесина прилегает непосредственно к сердцевинной трубке, располагаясь вокруг нее годовыми концентрическими слоями. Обычно древесина имеет светлую окраску. У некоторых пород не-

посредственно к сердцевинной трубке прилегает более темная древесина, которая называется *ядром*, или *мертвой древесиной*. Далее, к периферии ствола расположена светлоокрашенная древесина, называемая *заболонью* или *оболонью*. Породы, имеющие ядро и заболонь, называют *ядровыми* (дуб, сосна, лиственница и др.). К древесным породам, чисто *заболонным*, относят березу, осину, ольху, граб и др. Древесина некоторых пород в центральной части отличается от периферийной только меньшим содержанием воды. Более сухую центральную часть древесины в этом случае называют *спелой древесиной*. К группе древесных пород со спелой древесиной относят бук, липу, ель, пихту и др. Заболонь у растущего дерева состоит преимущественно из живых клеток, которые служат для передвижения воды и отложения запаса питательных веществ. Ядро образуется в результате отмирания клеток и заполнения их дубильными и другими веществами. Ядровая древесина обладает более высокими техническими свойствами, чем заболонная. Ширина заболони у разных древесных пород различна: у тиса, например, ширина заболони равна нескольким миллиметрам, а у сосны, ясеня — несколькими сантиметрами.

Серцевина находится примерно в центре ствола. Непосредственно к сердцевине прилегают слои *первичной древесины*. Серцевина и первичная древесина в совокупности называется *сердцевинной трубкой*; она имеет толщину от 3 до 5 мм, в редких случаях достигает 10 мм (например, у бузины). Форма ее различна, у большинства пород она круглая или овальная. Серцевина состоит из тонкостенных паренхимных клеток и является наиболее слабой частью ствола; она плохо противостоит загниванию. Поэтому в ряде случаев, например для ответственного сортамента сердцевину удаляют.

Для проведения питательных веществ в поперечном направлении — от коры к сердцевине — служат сосудисто-волокнистые ткани, которые называются *сердцевинными лучами*. Ширина их изменяется от 0,6 до 0,015 мм.

§ 106. ГЛАВНЕЙШИЕ ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ

Древесные материалы, применяемые в строительстве, изготавливают из различных древесных пород. Лесные насаждения, состоящие из лиственных пород, называют *черным лесом* (*чернолесьем*), из хвойных пород — *красным лесом* (*краснолесьем*). Насаждения, имеющие лиственные и хвойные породы, называют *смешанными*. Древесные породы делят на две группы: 1) *лиственные* — кольцепоровые и рассеянопоровые; 2) *хвойные*.

Лиственные древесные породы (чернолесье). У лиственных кольцепоровых пород на поперечном разрезе хорошо заметны сосуды, расположенные в весенней части годовичного слоя в виде кольца. К этой группе относятся следующие главные древесные породы.

Дуб — ядровая порода. Из всего многообразия различных видов дуба остановимся на описании только летнего (стебельчатого) и

зимнего (сидячецветного)¹, которые произрастают в европейской части СССР. Эти два вида различаются между собой внешним видом листьев и желудей. Зимний дуб получил свое название потому, что он иногда зимой не полностью сбрасывает побуревшие листья. В техническом отношении летний и зимний виды дуба различаются между собой только тем, что у летнего дуба древесина более плотная и с прямыми волокнами, вследствие чего колкость дуба летнего, лучше, чем зимнего. Корни дуба уходят глубоко в грунт. Средняя продолжительность жизни дуба 500—600 лет. В густом лесу дуб образует прямой и высокий ствол почти без сучьев. Одиноко стоящие деревья имеют сучковатый низкий и толстый ствол. Дуб имеет узкую заболонь желтовато-грязного цвета. Древесина дуба плотная, прочная и упругая, с хорошо развитыми сердцевинными лучами; при высыхании она обладает значительной усадкой и склонна к образованию трещин; дуб хорошо сохраняется на воздухе и под водой. Дуб, находящийся длительное время под водой, приобретает большую твердость, при этом древесина его чернеет под влиянием взаимодействия дубильной кислоты с солями железа, находящимися в воде.

Древесину дуба, обладающую высокими техническими качествами, применяют в мостостроении, в гидротехническом строительстве, для изготовления частей зданий, паркета, шпал, для различных отделочных работ, для изготовления мебели, фанеры и др.

Вяз — также ядровая порода; ядро светло-бурое и серо-бурое, заболонь широкая, светло-желтая, древесина довольно тяжелая, прочная, упругая, средней твердости и хорошо сопротивляется ударной нагрузке. Особой прочностью отличается древесина вяза в сооружениях под водой; на воздухе она сохраняется хуже. Вяз применяют в гидротехнических сооружениях, в машиностроении, для изготовления облицовочной фанеры и др.

Лиственные рассеяннопоровые породы характеризуются тем, что мелкие и крупные сосуды распределены неравномерно по всему годичному слою. К рассеяннопоровым относятся следующие породы дерева.

Береза — порода заболонная, с довольно твердой и тяжелой древесиной белого и желтоватого цвета. Серцевинные лучи очень тонкие и имеют блеск в радиальном разрезе. Древесина березы вязкая, довольно прочная, но мало устойчива против гнили, медленно просыхает и легко коробится. Продолжительность жизни березы достигает 100 лет. В густом насаждении береза образует высокий, прямой почти без сучков ствол с белой корой (берестой). Белый цвет коры обуславливается наличием в ней смолистого вещества — бетулина, вследствие чего кора не пропускает влаги и не гниет. Шоколадный цвет древесины служит отрицательным признаком, свидетельствующем о начале загнивания. Древесину березы применяют для изготовления мебели, фанеры, токарных изделий и т. д.

Для отделочных работ особо ценится карельская береза, у которой вследствие извилистого расположения волокон на разрезе получается красивый рисунок.

Ольха (черная) — порода заболонная. Древесина ольхи довольно легкая и мягкая, ломкая и сильно коробящаяся. Свежесрубленная древесина ольхи белого цвета, но на воздухе быстро принимает красноватую окраску и сравнительно скоро портится. Однако если древесина ольхи в свежесрубленном состоянии применяется для подводных сооружений, она довольно прочна и сохраняется не хуже дуба. В строительстве ольха применяется реже; ее часто высаживают в грунт для укрепления откосов каналов, плотин и других подобных сооружений.

Осина относится к заболонным породам; древесина легкая и мягкая, белого цвета с бледно-зеленоватым оттенком. В сухой среде осина довольно прочна, но во влажном состоянии быстро загнивает. Ствол осины прямой, круглый. Для улучшения качества древесины осину заваливают на корню, для чего за год до рубки с нее снимают кольцом часть коры. Древесина осины хорошо колется, легко и чисто обрабатывается на токарном станке, мало коробится и мало трескается при высыхании. Осину применяют для изготовления фанеры, гонта (тонкие дощечки для кровель) и др.

Клен (остролистый) — порода заболонная; древесина белого, красноватого или желтого цвета с шелковистым блеском и красивым рисунком, часто встречаются темные или цветные пятна, являющиеся признаком загнивания древесины. Древесина клена прочная, плотная, мало коробится, почти не трескается при высыхании и хорошо обрабатывается; при переменной влажности мало устойчива. Клен применяют для отделочных работ, для токарных изделий, для изготовления облицовочной фанеры и т. д.

Бук имеет тяжелую, твердую древесину белого цвета с красноватым оттенком и многочисленными широкими сердцевинными лучами, которые имеют более темный цвет, чем остальная часть древесины. В свежем состоянии древесина бука сравнительно легко обрабатывается, но в старой, сухой древесине это свойство утрачивается. При высыхании древесина коробится и трескается. Вследствие незначительного распространения (Крым, Карпаты, Кавказ) применение бука ограничено: он применяется в строительстве для изготовления свай, фанеры, шпал (с пропиткой антисептиками) и др.

Граб — порода заболонная; древесина твердая, тяжелая, вязкая, белого цвета, трудно раскалываемая. Годичные кольца располагаются в виде волнистых линий. На открытом воздухе древесина граба сравнительно быстро загнивает. В строительстве граб находит ограниченное применение и употребляется на мелкие поделки, требующие большой твердости (инструментальные колодки, зубчатые колеса и пр.).

Хвойные древесные породы (краснолесье). Древесина хвойных пород отличается от древесины лиственных пород ясно выраженными годичными слоями однообразного строения и отсутствием сосу-

¹ У стебельчатого дуба желуди сидят на длинных черенках (стебельках), а у сидячецветного дуба желуди черенков не имеют.

дов. Хвойные деревья имеют листья в виде игл, которые на зиму опадают не полностью. Исключение составляет (в СССР) только лиственница, которая осенью сбрасывает свою мягкую хвою.

Сосна обыкновенная относится к ядровой породе. Ядро имеет розоватый, желтоватый или буроватый цвет и особенно выделяется при высыхании древесины; заболонь имеет желтовато-белый цвет. Древесина сосны мягкая, легкая, малоупругая и хорошо колется. Сосна, произрастающая на сухих песчаных почвах, называется *рудовой* или *кондовой*; она образует плотную, смолистую и мелко-слоистую древесину желто-красноватого цвета. Сосна, выросшая в сырых местах, называется *мяндовой* и имеет древесину менее прочную, крупнослойную, с сильно развитой заболонью. В густом насаждении сосна дает высокий прямой ствол почти без сучьев. Продолжительность жизни сосны до 300 лет. Лучшую древесину она дает в возрасте 80—120 лет. Наилучшая древесина сосны — в лесах северных и северо-западных районов. Высокие качества имеет также уральская сосна. Древесину сосны широко применяют в различных областях строительства: в мостостроении, для изготовления столбов, досок, шпал, различных вспомогательных конструкций, опалубки и т. д.

Ель имеет спелую древесину белого, слегка блестящего цвета с довольно широкой заболонью. Выросшая на болотистой почве ель имеет древесину со слабокрасноватым цветом. Древесина ели мягкая, легкая, менее смолистая, чем у сосны, и поэтому относительно быстрее загнивает. В сухих местах древесина ели может сохранять продолжительное время. Ель так же, как и сосна, является наиболее распространенной на территории СССР древесной породой; на юге ель распространена меньше, чем сосна; на песчаных почвах она не растет. Продолжительность жизни ели 250—300 лет. Лучший возраст для рубки — между 100 и 150 годами. Ель имеет прямой цилиндрический сучковатый ствол. В строительстве ель применяют меньше, чем сосну, так как качество ее хуже. Древесина ели лучше и прямее колется, чем сосны; применяется в виде круглого и пиленого леса.

Лиственница относится к ядровым породам. Древесина ее имеет красновато-бурое ядро и узкую заболонь белого цвета с буроватым оттенком. Древесина лиственницы мелко-слоистая, плотная, тяжелая, довольно твердая и обильно пропитана смолой. Лиственница широко распространена на севере СССР (в бассейнах рек Камы, Печоры, Северной Двины, а также на Урале и в Сибири). Лучше всего она произрастает на рыхлом каменистом грунте. Лиственница относится к быстрорастущим породам, достигая к 60—80 годам полного развития. Ствол у лиственницы стройный прямой с незначительным количеством сучьев. Древесина лиственницы мало коробится и трескается при высыхании, она тверда, прочна и не поражается насекомыми; хорошо сохраняется на воздухе и под водой, причем, находясь продолжительное время под водой, она увеличивает свою механическую прочность. Лиственницу применяют в различных областях строительства.

Кедр (сибирский) — порода ядровая. Древесина кедра имеет желтовато-красноватое ядро и тонкую желтовато-белую заболонь; она мелко-слоистая, мягкая и довольно прочная. Ствол кедра прямой, высокий, правильный, продолжительность жизни около 700 лет. Кедр распространен главным образом в Сибири, произрастая на влажных, рыхлых грунтах. По качеству древесина кедра близка к древесине сосны.

Пихта имеет спелую древесину белого цвета почти без смоляных ходов. Древесина пихты мягче и слабее, чем у других хвойных пород. Родина пихты — Сибирь. В европейской части СССР пихта встречается на Урале и в северо-восточных областях. По техническим качествам древесина пихты приближается к древесине ели и применяется в строительстве для тех же целей, что и ель.

Примерные сроки службы древесины различных пород (по Юргенсу) приведены в табл. 120 (срок службы дуба принят за единицу).

§ 107. СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Технические свойства древесины зависят от ее состава и строения. Физические и механические свойства в большей или меньшей степени обуславливают и другие свойства древесины, поэтому им уделяется основное внимание.

Физические свойства древесины. Цвет древесины зависит в основном от присутствия красящих и дубильных веществ, возраста и условий роста дерева. Древесина пород умеренной климатической зоны имеет сравнительно однообразную окраску — от светлой до коричневой. Древесина пород тропического пояса по окраске более разнообразна, что зависит главным образом от наличия различных красящих веществ. Так, например, древесина эбенового дерева имеет черный цвет, фернам-букового — темно-красный и пр. Появление серой, зеленоватой, синей и красной сплошной, полосатой или пятнистой окраски для пород умеренной климатической зоны указывает на болезненное состояние древесины, вызванное гнилями и грибами. Древесина каждой породы имеет своеобразный запах вследствие наличия в ней смол, эфирных масел, дубильных и других веществ. При загнивании древесина обычно приобретает неприятный, затхлый запах.

Текстура, или рисунок древесины зависит от наличия тех или иных волокон, их величины и взаимного расположения. Наличие сучков, свилеватости и других признаков обуславливает различную текстуру древесины. В зависимости от направления среза получает-

Таблица 120

Древесные породы	Срок службы	
	на воздухе	в воде
Дуб	1,0	1,0
Береза	0,15—0,40	Не применяется
Бук	0,10—0,60	0,7—1,0
Ольха	0,20—0,40	1,0
Вяз	0,60—0,90	0,9
Ива	0,30	Не применяется
Осица	0,20—0,40	То же
Сосна	0,40—0,85	0,8
Ель и лиственница	0,40—0,67	0,5

ся также различная текстура. Почти совершенно лишены рисунка осина, липа, тополь, ива, так как они не имеют широких сердцевинных лучей и отличаются постепенным переходом от ранней зоны годичного слоя к поздней.

Плотность древесины колеблется в незначительных пределах, она почти не зависит от породы и в среднем равна 1,54 г/см³.

Объемную массу определяют обычно при влажности древесины, равной 15%. Объемная масса древесины зависит от количества пор и влажности. По объемной массе древесину делят на следующие группы:

очень легкая — с объемной массой меньше 0,45 (кедр сибирский, осокорь, пихта);

легкая — с объемной массой 0,46—0,60 (бархатное дерево, берест, вяз, ель, липа, осина, сосна);

среднетяжелая — с объемной массой 0,61—0,75 (акация, береза, бук, груша, дуб, ильм, каштан, клен, лиственница, тис, яблоня, ясень);

тяжелая — с объемной массой 0,76—0,90 (граб, железное дерево);

очень тяжелая — с объемной массой 0,91 и более (кизил, самшит).

Объемная масса главных древесных пород в зависимости от влажности приведена в табл. 121.

Объемная масса древесины характеризует ее физико-механические свойства; ею пользуются для определения *коэффициента качества*, представляющего собой отношение временного сопротивления сжатию к объемной массе. Так, например, коэффициент качества сосны равен 0,6, дуба — 0,57.

Объем пор, заключенных в единице объема древесины, характеризует ее *пористость*, которая определяется обычным методом. Кроме общего количества пор, важной характеристикой является величина отдельных пор и их расположение в теле древесины, или однородность строения. Этим определяется возможность пропитки

древесины, ее сплав, водные свойства, теплопроводность, звукопроводность, электропроводность и другие свойства.

Водные свойства характеризуют отношение древесины к воде в жидком и газообразном состоянии. К водным свойствам относят влажность, влагоемкость, водопроницаемость, гигроскопичность и др. Вода в древесине заполняет полости клеток и межклеточные пространства и может быть в форме *капиллярной жидкости*. Эта вода, заполняя сосуды древесины, содержит различные соли, которые необходимы для жизни дерева. *Коллоидно-связанная вода*, пропитывая стенки клеток, удерживается в межмицеллярных промежутках. Наконец, *химически связанная* вода входит в состав отдельных веществ, составляющих древесину.

Гигроскопичность древесины называют способность ее поглощать из воздуха парообразную воду. В заболони растущего дерева вода находится во всех формах, в ядре же — только коллоидно и химически связанная.

Влажностью называется массовое количество влаги, заключающееся в данный момент в древесине. По степени влажности древесины установлены следующие наименования:

Воздушносухой лес	влажность до 18% (для расчетов принимается 15%)
Полусухой лес	18—23%
Сырой лес	свыше 23%

Древесина, пребывавшая длительное время в воде, имеет большую влажность, чем свежесрубленная, и называется *мокрой*. Влажность древесины ствола растущего дерева в комле и вершине больше, чем в средней части. Содержание влаги в различных частях поперечного сечения ствола ядровых и спелодревесных пород различно, а у заболонных пород — равномерное. Свежесрубленное окоренное дерево, оставаясь на открытом месте, высыхает очень медленно, достигая воздушносухого состояния через полтора-два года. Хвойные породы высыхают несколько быстрее лиственных. В процессе просыхания дерева вначале испаряется свободная вода, а затем очень медленно удаляется коллоидно-связанная вода. Состояние древесины, при котором стенки клеток еще насыщены влагой, а свободная вода уже удалена, называется *точкой насыщения волокон*. Это состояние влажности для различных древесных пород находится в пределах 23—30%. Точка насыщения имеет большое практическое значение, так как удаление свободной воды почти не сказывается на свойствах древесины; с момента же испарения связанной воды начинается уменьшение объема (объемная усушка) и размера (линейная усушка) древесины, что приводит к ее уплотнению и увеличению прочности. При удалении связанной воды, находящейся в клеточных оболочках (в межмицеллярных промежутках), мицеллы постепенно сближаются, что и влечет за собой уменьшение объема.

Объемная усушка свежесрубленного дерева при высыхании до сухого состояния, так называемая *полная усушка*, колеблется у различных пород от 8,5 до 19%. Древесина тяжелых и твердых пород имеет большую усушку, чем древесина легких и мягких пород.

Таблица 121

Древесные породы	Состояние древесины и влажность, %			
	воздушносухая 12—18%	полусухая 18—23%	сырая 23—45%	свежесрубленная природная
Объемная масса древесины				
Дуб, бук, граб, акация, ясень	0,70	0,75	0,80	1,0
Лиственница, береза, ильм, каштан	0,60	0,65	0,70	0,9
Сосна, ольха, осина, ива	0,50	0,55	0,60	0,8
Ель, пихта, кедр, тополь, липа	0,45	0,50	0,55	0,8

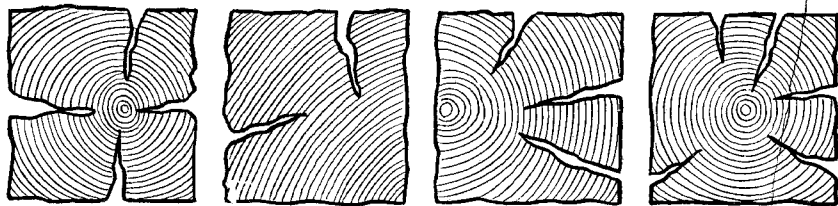


Рис. 186. Трещины в брусках при быстрой сушке

Кроме объемной или линейной усушки, определяют *коэффициент объемной усушки* как отношение показателя усушки к разности начальной и конечной влажности. Коэффициент объемной усушки для различных пород колеблется от 0,2 до 0,75%. Уменьшение объема древесины вследствие испарения воды происходит неодинаково в различных направлениях. У древесины одной и той же породы наименьшая усушка происходит в продольном, а наибольшая — в тангенциальном направлении. Медленное высушивание дерева приводит к более равномерной усушке и дает меньше трещин. Срубленное дерево, оставленное в коре, высыхает медленнее, чем без коры. Неравномерная усушка древесины в различных направлениях вызывает различные напряжения, вследствие чего древесина коробится и покрывается трещинами. На рис. 186 показаны трещины в брусках при быстрой сушке.

В круглом бревне трещины располагаются радиально. Изменение размера сортамента вследствие неравномерного высушивания зависит от его формы и от того, из какой части ствола вырезан сортмент. Например, чем ближе доска вырезана к сердцевине ствола, тем она меньше коробится, и, наоборот, чем дальше от сердцевины, тем больше у нее выпуклость к сердцевине (рис. 187). Свойство неравномерного изменения линейных размеров в различных направлениях является одним из самых отрицательных свойств дерева как строительного материала.

Влажность древесины зависит от влажности окружающего воздуха. Если высушенную древесину поместить в среду с повышенной влажностью, древесина постепенно начнет поглощать влагу и увеличиваться в объеме — разбухать. Разбухание древесины, как и усушка, также происходит неравномерно в различных направлениях: наименьшее — вдоль волокон, наибольшее — поперек волокон в тангенциальном направлении.

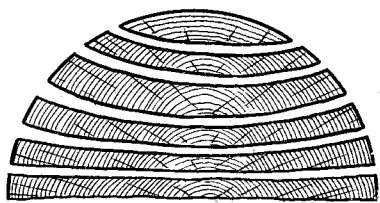


Рис. 187. Коробление досок при сушке

Сухая древесина в зависимости от температуры и влажности окружающей среды может поглощать влагу до определенного предела, т. е. до *равновесной влажности*, когда древесина не испаряет и не поглощает влагу.

Способность древесины поглощать воду называется *влажностью*, которая в известной мере зависит от объемной массы древесины: наиболее легкая поглощает большее количество воды, наиболее тяжелая — меньшее количество воды.

Теплотворная способность дерева — максимальное количество тепла (в калориях), которое может выделяться при полном сгорании единицы массы дерева (1 кг). Теплотворная способность

дров различных пород при одной и той же влажности в среднем колеблется в пределах 4700—4900 кал на 1 кг древесины.

Теплопроводность древесины сравнительно мала и зависит от характера пористости и влажности; теплопроводность древесины неодинакова в различных направлениях. С увеличением объемной массы и влажности уменьшается количество воздуха, находящегося в пустотах, вследствие чего теплопроводность древесины увеличивается.

В направлении поперек волокон теплопроводность меньше, чем вдоль волокон.

Звукопроводность древесины характеризуется скоростью распространения в ней звука. Дерево является хорошим проводником звука, который в древесине распространяется в 2—17 раз быстрее, чем в воздухе. Быстрее всего звук распространяется вдоль волокон, медленнее — в радиальном и еще медленнее — в тангенциальном направлениях.

Звукоизоляционная способность, или звуковое сопротивление, характеризуется произведением скорости распространения звука в данном материале на его объемную массу. Звукоизоляционная способность дерева по сравнению с другими материалами, по данным Лифица, характеризуется данными, приведенными в табл. 122.

Механические свойства древесины. Древесина — анизотропный материал, т. е. ее свойства имеют различное значение по различным направлениям, что учитывают при испытании ее механических свойств.

Механическая прочность — способность древесины сопротивляться сжимающим, растягивающим, изгибающим и другим усилиям статического и динамического порядка. Прочность увеличивается с увеличением плотности сухой древесины, а также при правильном расположении волокон (прямолнейности), мелкослойности (у хвойных пород), отсутствии сучков, малой влажности, увеличении возраста (для сосны, например, 80—120 лет).

Сопротивление сжатию. Во многих конструктивных элементах дерево работает на сжатие, например сваи, колонны, стойки и т. д. Усилия к конструктивному элементу могут быть приложены с уче-

Таблица 122

Материал	Звукопроводность, М/с	Объемная масса	Звукосопротивление
Воздух	340	0,0013	0,442
Пробка	500	0,2000	100
Дуб	3 380	0,7000	2 366
Красное дерево	4 135	0,6000	2 481
Ель	5 250	0,5000	2 665
Медь	3 700	8,9000	32 930

Таблица 123

Порода дерева	Объемная масса	Прочность при сжатии, кгс/см ²		
		вдоль волокон	поперек волокон	
			тангенциальное	радиальное
Ель	0,45	565	71	58
Пихта	0,50	482	84	41
Сосна южная	0,59	753	132	67
Дуб	0,74	752	117	172
Граб	0,80	724	156	256
Бук	0,69	445	103	135

том строения древесины вдоль или поперек волокон, поэтому различают сжатие вдоль волокон и сжатие поперек волокон.

Колебания величины сопротивления сжатию даже для одной и той же породы весьма значительны. Так, для дуба при 15-процентной влажности сопротивление сжатию вдоль волокон колеблется примерно от 320 до 685 кгс/см². Прочность при сжатии поперек волокон, по Н. А. Белелюбскому, составляет 27% от прочности при сжатии вдоль волокон для хвойных пород и 40% для лиственных пород (табл. 123).

Сопротивление растяжению. Наибольшей прочностью древесина обладает при работе на растяжение вдоль волокон (табл. 124). Вследствие трудности передачи усилий, т. е. закрепления концов детали, древесину сравнительно редко используют для конструкций, работающих на растяжение.

Таблица 124

Порода дерева	Предел прочности при растяжении, кгс/см ²			Породы дерева	Предел прочности при растяжении, кгс/см ²		
	вдоль волокон	поперек волокон			вдоль волокон	поперек волокон	
		радиальное	тангенциальное			радиальное	тангенциальное
Сосна	1278	25,6	19,6	Береза	1560	82,3	106,3
Ель	1458	22,0	29,7	Ольха	1400	32,9	17,5
Лиственница	1208	62,0	—	Осина	1450	17,1	41,4
Бук	1340	88,5	75,2	Граб	1890	100,7	60,8
Дуб	1490	58,2	40,6	Клен	1682	71,9	37,1
				Ясень	1109	21,8	40,8

Трудность передачи усилий заключается в том, что в закрепленных концах деревянной детали возникают напряжения скалывания и смятия, которым древесина плохо сопротивляется.

Сопротивление раскалыванию. Способность древесины раскалываться вдоль волокон под действием клина, вбиваемого в торец, представляет собой сложное явление, но по характеру близкое к

Таблица 125

Порода дерева	Предел прочности при раскалывании поперек волокон, кгс/см ²		Порода дерева	Предел прочности при раскалывании поперек волокон, кгс/см ²	
	радиальное	тангенциальное		радиальное	тангенциальное
Дуб (Татарская АССР)	6,1	9,0	Клен (Уральская обл.)	9,5	11,5
Дуб (Воронежская обл.)	7,6	10,0	Бук (Майкопский р-н)	6,0	9,7
Ясень (Татарская АССР)	7,3	9,0	Береза (Московская обл.)	7,5	8,3
Вяз (Уральская обл.)	6,8	7,5	Сосна (Московская обл.)	4,5	4,5

растяжению поперек волокон. Прочность при раскалывании древесины в воздушносухом состоянии приведена в табл. 125.

По степени раскалывания древесные породы делят на следующие группы: весьма труднораскалывающиеся (самшит, граб, вишня, ильм, тис); труднораскалывающиеся (клен, ясень, каштан); сравнительно легко раскалывающиеся (ольха, сосна, осина, дуб, липа); очень легкораскалывающиеся (ель, пихта, тополь, веймутова липа, ива).

Сопротивление древесины статическому изгибу. Древесина оказывает большое сопротивление статическому изгибу, поэтому ее широко применяют при строительстве мостов, устройстве ферм, подмостей. Средние значения прочности при статическом изгибе для некоторых древесных пород приведены в табл. 126.

Таблица 126

Порода дерева	Объемная масса	Предел прочности при статическом изгибе, кгс/см ²	Порода дерева	Объемная масса	Предел прочности при статическом изгибе, кгс/см ²
Дуб	0,66	840	Осина	0,42	740
Береза	0,63	860	Клен	0,50	820
Бук	0,73	660	Ясень	0,60	980
Граб	0,87	1100	Сосна	0,49	790
Тис	0,63	790	Пихта	0,40	650
Ольха	0,40	810	Лиственница	0,56	920
Ильм	0,56	920	Вяз	0,52	710
Ель	0,42	700			

Упругость древесины. Древесина обладает большой упругостью. Наиболее упруга древесина тяжелых пород: белой акации, тиса, клена. Влажная древесина хвойных пород обладает упругостью почти наполовину меньшей, чем воздушносухая.

Твердость древесины имеет существенное значение при ее обработке. Кроме того, чем тверже древесина, тем меньше она изнашивается, что важно для полов, настилов на мостах. Твердость обычно характеризуется статической твердостью. В зависимости от того, в какую поверхность вдавливаются пуансон, различают твердость торцовую, радиальную и тангенциальную. У большинства пород торцовая твердость выше боковой. По данным Бринеля — Янка, древесину различных пород по торцовой твердости классифицируют следующим показателем:

Очень мягкая	<350	кгс/см ²
Мягкая	351—500	»
Средней твердости	501—650	»
Твердая	651—1000	»
Очень твердая	>1000	»

Способность древесины удерживать металлические крепления (гвозди, шурупы, костыли, скобы и др.) зависит от упругости древесины, сопротивления сжатию и растяжению, от трения между поверхностями металлического крепления и древесины и т. п. Для характеристики способности древесины удерживать гвозди в табл. 127 приводится ряд сравнительных показателей, причем сопротивление для граба в радиальном направлении принято за 100.

Таблица 127

Порода дерева	Объемная масса	Сопротивление при выдергивании в направлении		Порода дерева	Объемная масса	Сопротивление при выдергивании в направлении	
		радиальном	торцовом			радиальном	торцовом
Граб	0,72	100	89	Сосна	0,60	63	42
Бук	0,67	96	70	Ель	0,41	44	29
Береза	0,66	92	65	Липа	0,41	39	27
Ясень	0,64	88	75	Осина	0,41	39	30
Дуб	0,66	75	64	Тополь	0,34	37	28

§ 108. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

Отклонения от нормального строения древесины, которые оказывают влияние на ее технические свойства, называют пороками, или *фаутами*. Некоторые пороки можно легко обнаружить при внешнем осмотре дерева, большинство же их скрыто и может быть обнаружено только после валки дерева или даже при разделке древесины. Пороки оказывают различное влияние на технические качества древесины. Это зависит от вида и степени их выраженности и от назначения древесины. Пороки в зависимости от вызвавших их причин делят на следующие группы: зависящие от неправильного строения древесины; от механического повреждения; от повреждения насекомыми; вызываемые грибами и бактериями.

Пороки, зависящие от неправильного строения древесины. *Свилеватость* — ненормальное строение древесины, выражающееся в неправильном расположении волокон, например волнообразном. Свилеватость встречается у всех древесных пород и может распространиться на все дерево или на отдельные его участки. Свилеватый ствол трудно раскалывается и обрабатывается, но древесина имеет красивый рисунок. С точки зрения строительства свилеватость понижает качество древесины.

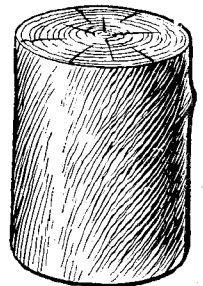


Рис. 188. Косослой

Косослой (рис. 188) — такое строение древесины ствола, когда волокна располагаются винтообразно. Косослой встречается у всех пород (чаще у дуба и сосны) и распознается по спиральному расположению трещин. Косослойное дерево непригодно для распиловки на пиломатериалы.

Оспина — свилеватость небольшого размера, встречающаяся в различных местах, например, у сучков.

Ройки (рис. 189) — наружные продольные углубления у нижней, комлевой части ствола. Торцовый разрез при этом получается волнообразного очертания.

Закомелистость — значительное и резкое утолщение комлевой части ствола.

Двойная заболонь — порок, встречающийся преимущественно у дуба и сосны. Двойная, или ложная, заболонь состоит в том, что в ядровой части образуется несколько годичных слоев, по свойствам и цвету похожих на заболонь. Она хорошо видна на торцовом разрезе в виде светлых концентрических полос. Древесина с широкой двойной заболонью обладает низкими строительными качествами.

Двойная сердцевина (рис. 190) характеризуется наличием двух сердцевин в торцовом сечении ствола. Обычно она встречается при двухвершинности дерева в верхней части ствола, близко к месту раздвоения вершины. Двойная сердцевина снижает качество сортамента.

Большеболонность — усиленное развитие заболони за счет ядра. Большеболонность может быть правильной при равномерном

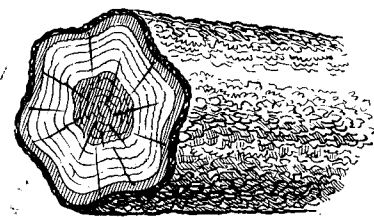


Рис. 189. Ройки

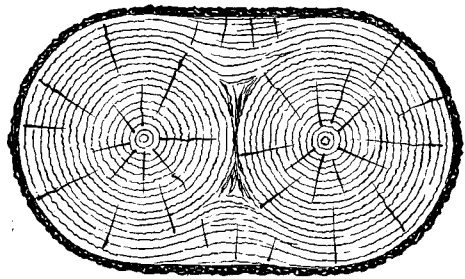


Рис. 190. Двойная сердцевина

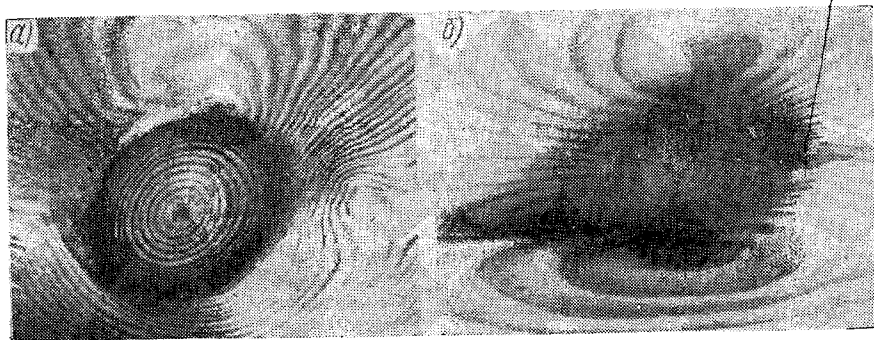


Рис. 191. Сучки:

а — загнивающий сучок сосны; б — сучок табачный

развитии заболони за счет ядра и чаще односторонней, когда усиленное развитие заболони происходит с одной стороны ядра. Большеболонность встречается у всех ядровых пород, в частности, у сосны, выросшей на сырых, заболоченных почвах, вследствие чего ее древесина более рыхлая (мяндовая сосна).

Кривизна — искривление ствола во время роста в одном или нескольких местах. Если искривление ствола направлено в одну сторону, кривизна называется односторонней, если в разные стороны — разносторонней.

Крень — ненормальное уширение годовичных слоев с одной стороны, что вызывает эксцентричность ствола и часто его искривление.

Сбежистость — ненормальное уменьшение диаметра ствола от комлевой части к вершине. За норму сбежистости обычно принимается уменьшение диаметра ствола на 1 см на 1 м длины ствола.

Сучковатость свидетельствует о наличии у дерева больших ветвей. Влияние сучков на качество древесины зависит от их количества на 1 м, величины и видов самих сучков. Большие сучки снижают механические свойства древесины и затрудняют ее обработку, так как они обычно тверже окружающей их ткани. Сучки могут быть *выпадающие, заросшие, сучки-пасынки, рыхлые, роговые, табачные* и др. (рис. 191). Если ветка отломилась непосредственно у ствола, сучок обычно затягивается древесиной и срастается с ней. В том случае, когда ветка обломана на некотором расстоянии от ствола, сучок при дальнейшем росте дерева не срастается с древесиной и легко выпадает при разделке дерева. Сучки могут быть здоровые, загнившие, сильно пропитанные смолой. Загнившие сучки, например табачные, являются очагами загнивания здоровой древесины и резко снижают ее качество. В зависимости от количества сучков, их расположения и вида лесоматериалы относят к тому или иному сорту.

Трещины в древесине образуются не только вследствие неправильного роста дерева, но и от ряда внешних причин (неравномер-

ного высыхания срубленного дерева, сильных морозов и т. д.). У различных древесных пород встречаются все виды трещин, кроме серницы; серница же — только у хвойных. Трещины и щели измеряют по длине, иногда по ширине и глубине. Различают следующие трещины.

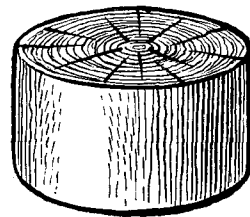


Рис. 192. Ветреница

Ветреница, или *сердцевинная трещина* (рис. 192) — внутренняя продольная трещина, идущая в древесине от торца по длине не более 1,5 м. Эти трещины располагаются радиально от сердцевины и не доходят до периферии примерно на 1 см. Наибольшая ширина их наблюдается в средней части древесины, а не у сердцевины (в отличие от метика).

Метик (рис. 193) — внутренняя продольная трещина, постепенно сужающаяся от комлевой части вверх. На поперечном разрезе ствола метик имеет вид трещины, идущей от сердцевины или пересекающей ее, но не доходящей до луба. Наибольшая толщина трещины совпадает с сердцевинной. Метрики образуются в основном от раскачивания дерева ветром.

Отлупом называют внутреннюю трещину, идущую по годовичному кольцу. На торцовом разрезе отлуп заметен в виде дугообразных или кольцевых трещин. Вдоль ствола отлуп редко бывает длиннее 2 м. Отлуп образуется под действием грибов, усыхания древесины и от сильных морозов.

Серница — трещина между годовичными слоями, расположенная обычно вблизи заболони и заполненная смолой. Серница в продольном направлении ствола не имеет большого протяжения.

Морозобоина, или *яблина* (рис. 194) — трещина, образующаяся во время сильных морозов вследствие неравномерного сжатия древесины. Наиболее широкая часть такой трещины находится на периферии ствола. Морозобоины могут быть открытые и закрытые; в последнем случае трещины зарастают древесиной. Открытые трещины являются местом загнивания древесины.

Солнечные трещины образуются при высыхании древесины от поверхности в глубь дерева и могут быть односторонние и сквозные. На растущем дереве солнечных трещин не бывает. Трещины снижают качество древесины, уменьшают количество полезной древесины и способствуют ее загниванию. В зависимости от хранения и количества трещин судят о возможности применения древесины для данного сортамента.

Пороки, зависящие от механических повреждений древесины. Пороки древесины от различных механических повреждений легко обнаружить при внешнем осмотре дерева. Если эти повреждения невелики, они заживают, несколько снижая качество древесины, так как в месте повреждения образуется новая, более рыхлая ткань. При более глубоком механическом повреждении древесины поврежденное место зарастает «наплывом» от краев повреждения за счет отложения новых слоев древесины. Такие шарообразные

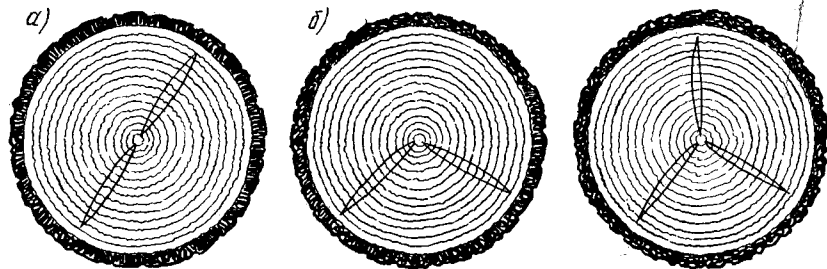


Рис. 193. Метик:
а — простой; б — крестовой

или иной формы наросты называются *раком*. Если наплывы полностью закрывают поврежденное место, рак называется закрытым, в противном случае ткани затягиваются (у хвойных пород) смолой, усиленно выделяемой деревом. Этот вид повреждения называется *засмолкой*.

Сухобокостью называется одностороннее омертвление древесины, часто сопровождаемое солнечными трещинами и образующееся вследствие обдира коры на растущем дереве. В зависимости от размеров сухобокость понижает сорт древесины.

Бурелом — сломанное дерево, корень которого остается в грунте. Обычно древесина бурелома не утрачивает свойств растущего дерева.

Ветровалом называется дерево, сваленное ветром вместе с корнем. Древесина бурелома и ветровала в правильно оторцованном сортаменте не отличается по качеству от древесины, заготовленной из растущего дерева.

Валежником называется дерево или часть его, лежащее в лесу на земле; кора дерева, утратив свою жизнедеятельность, отпала или отпадает. Характерными признаками древесины валежника являются ее потемнение и наличие повреждений насекомыми, а при

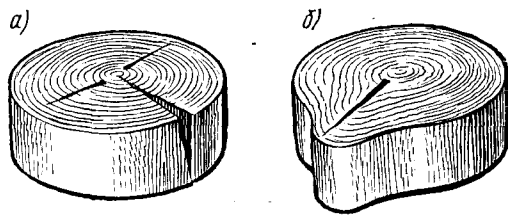


Рис. 194. Морозобоина:
а — открытая; б — закрытая

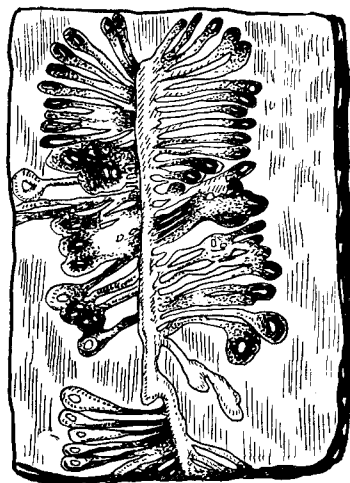


Рис. 195. Короед ели

длительном лежании — и загнивание; качество древесины при этом понижается, доходя до полной непригодности.

Повреждение древесины насекомыми. Многочисленные вредители древесных пород могут поражать растущее и срубленное дерево. Из насекомых, поражающих древесину растущих пород, большой вред приносят короед, древесинники, усачи и др. Различают следующие пороки древесины, причиняемые этими насекомыми.

Короед — поверхностные повреждения древесины, вызываемые жучками-короедами и лубоедами и их личинками, причем повреждения имеют вид неглубоких извилистых бороздок (рис. 195). Короед может встречаться на всех породах; он понижает сорт древесины.

Червоточина — глубокие повреждения древесины в виде отверстий круглого или овального сечения, расположенные от поверхности в глубь древесины. Эти отверстия образуют насекомые и их личинки (древесинники, усачи и др.). Червоточина может встречаться на всех древесных породах; червоточина понижает сорт древесины.

К наиболее распространенным видам насекомых, поселяющихся на срубленной древесине, находящейся на поверхности земли, относятся личинки жуков и бабочек, осы, жуки и муравьи. Наиболее опасен жук-точильщик, личинки которого пробуравливают в древесине многочисленные ходы и тем самым значительно снижают ее механические свойства. Большой вред на юге и на юго-востоке СССР причиняют древесные термиты, или белые муравьи. Меньший вред причиняют личинки бабочки-орехотворки, встречающейся на сосне.

Очень быстро разрушают древесину гидротехнических сооружений в теплых водах морей моллюски — свайный червь, или шашень, и бурильная раковина. Свайный червь проделывает непересекающиеся ходы вначале поперек волокон размером 1,0—1,5 см, а затем вдоль волокон, причем эти ходы заполняются или покрываются известью. Бурильная раковина сверлит древесину перпендикулярно к направлению тканей.

Повреждение древесины грибами и бактериями (микроорганизмами). Пороки древесины от действия грибов весьма многочисленны. Обычно их классифицируют по грибам, вызывающим повреждения, или по характеру разрушений, которые причиняют грибы (рис. 196). Грибы могут развиваться и поражать только растущее или только срубленное дерево; существуют грибы, которые развиваются на растущем и на срубленном дереве. Грибы, развивающиеся в древесине растущего дерева, по мере своего развития причиняют разрушения, имеющие следующие стадии: изменение окраски древесины (ложное ядро, твердая темнина, краснина); поражение тканей, выражающееся в дряблости, ячеистости и трухлявости (ситовина, трухлявость), наконец, образование дупла — как последняя стадия разрушения. Из многочисленных грибов, вызывающих разрушения растущей древесины, назовем следующие: гниль дуба

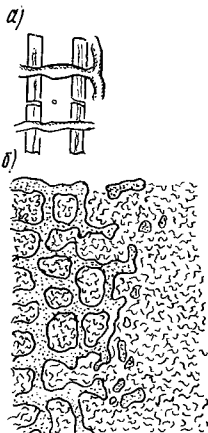


Рис. 196. Характер поражения древесины грибом: а — гифа гриба, проникающая сквозь клетки; б — разрушенные клетки

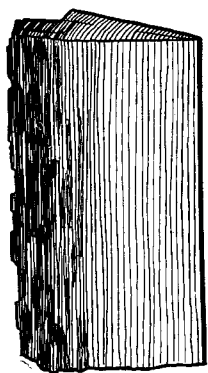


Рис. 197. Бурая гниль сосны

пестрая, гниль дуба полосатая, гниль ели пестрая, гниль лиственницы бурая, гниль лиственных пород полосатая, гниль сосны бурая (рис. 197) и трещиноватая, гниль сосны красная.

Гниль дуба пестрая поражает ядровую часть и распространяется по стволу на длину от 6 до 12 м. *Гниль дуба полосатая* развивается в ядровой и в заболонной части древесины, распространяясь вдоль ствола на длину от 3 до 5 м. *Гниль сосны бурая* распространяется по стволу от корня вверх на высоту 1,0—1,5 м, *гниль сосны красная* распространяется по всему стволу.

Все указанные гнили в зависимости от степени их распространения и стадии развития понижают качество древесины до полной утраты ее технических свойств.

Грибы, развивающиеся на срубленном дереве, поражают древесину сравнительно медленно, вызывая в начальной стадии развития изменение окраски древесины. Как только дерево подсохнет, грибы погибают. К этой группе грибов относятся биржевые грибы, плесени, цветные окраски и синевы. Группа грибов, поражающая растущее и срубленное дерево, обычно начинает свою разрушительную деятельность на живом дереве и продолжает ее на мертвой древесине. Эти грибы разрушают древесину быстрее, чем описанные выше, причем по мере развития гриба вначале изменяется окраска древесины, затем она становится более рыхлой и распадается, образуя щели, в которых развиваются пленки грибницы. В конечной стадии разрушения обычно древесина расщепляется и легко растирается пальцами.

Зараженное этими грибами дерево продолжает разрушаться и в конструкциях, особенно в сырых местах. К этой группе грибов относятся гниль дуба белая, бурая, призматическая, гниль лиственных пород белая и мраморная, гниль хвойных и

лиственных пород белая, заболонная и др. Грибы, развивающиеся преимущественно на мертвой древесине, имеют общее название *домовых грибов* (рис. 198). Это наиболее опасные грибы, так как при благоприятных условиях для развития (оптимальные условия влажности и температуры) они могут разрушить древесину в течение нескольких месяцев.

Домовые грибы размножаются спорами (4—8 мкм), которые большей частью состоят из одной клетки. Прорастание гриба возможно при температуре от 0 до 45°С и при наличии капельно-жидкой воды (влажность древесины 25—35%). При прорастании споры из нее вытягивается ростковая трубочка, которая по мере



Рис. 198. Древесина, пораженная домовым грибом (наружная трухлявая гниль)

роста превращается в *гифу* (грибная нить). Образовавшиеся нити начинают разветвляться и образуют сплетения грибных нитей, которые называются *грибницами*, или *мицелиями*. Гифы, соприкасаясь с тканью древесины, выделяют фермент, который гидролизует клетчатку древесины, переводя ее в глюкозу, идущую для питания гриба.

Вначале грибница распространяется преимущественно внутри древесины (так называемая *внутренняя грибница*). При этом свежая древесина, содержащая питательные вещества в своих сосудах, служит хорошей средой для быстрого развития грибницы.

Через некоторое время (15—20 дней) на поверхности древесины появляются плесневидные налеты — *внешняя грибница*. По мере использования питательных веществ древесины, когда гриб начинает голодать, наружная грибница образует *шнуры* или *тяги* и, наконец, *плодовые тела*, дающие споры.

Наружная грибница отмирает при легком подсушивании древесины и небольших морозах. Внутренняя грибница не гибнет даже во время сильных морозов. При ферментации клетчатки древесины и окислении образовавшейся глюкозы возникает так называемая биологическая влажность.

Количество влаги достигает 55% от массы вписанной целлюлозы, использованной грибом. Если эта вода не будет испаряться, то влажность древесины быстро повысится, что приведет к интенсивному распространению грибницы в древесине. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при разработке мероприятий, устраняющих гниение древесины. Приведем описание некоторых грибов этой группы.

Настоящий домовый гриб (*Merulius lacrymans*) развивается на всех древесных породах, в особенности на сосне и ели. В начальной стадии поражения на поверхности древесины появляется грибница в виде белых, а затем ватообразных налетов с розовым оттенком и характерными пятнами канареечного цвета. Под налетами образуются белые или коричнево-серые плоские деревянистые шнуры. Впоследствии грибница превращается в серо-пепельную пленку

с серебристо-шелковистым отблеском, особенно со стороны, прилегающей к древесине. Распростертое плодовое тело вначале имеет желтый, а затем ржаво-бурый цвет. Споры имеют вид коричневой пыли. Условия для развития: температура 15—25° С, влажность 22—35%. При большей или меньшей влажности гриб не развивается. Растущий домовый гриб издает неприятный запах. По мере развития грибницы древесина становится бурой, а затем в ней появляются продольные и поперечные трещины и, наконец, она распадается на призматические отдельности, легко растираемые пальцами.

Белый домовый гриб (*Poria variegata*) в начальной стадии развития имеет вид белоснежного пуха, который сохраняет белый цвет и после отмирания грибницы. Под грибницей образуются белые волокнистые, сравнительно мягкие круглые шнуры. Плодовое тело белое в виде пористой подушки с большими порами. Условия для развития: температура 15—20° С, влажность 22—45%.

Этот гриб поражает все древесные породы и особенно сосну и ель; характер разрушения древесины тот же, что и настоящим домовым грибом.

Пленчатый домовый гриб (*Coniophora sagabellae*) в начальной стадии развития образует на поверхности древесины слабо развитую грибницу в виде желтоватых пленок со светлыми краями. Шнуры тонкие, ветвистые, коричневые. Плодовые тела мягкие, кожистые, легко отделяющиеся от древесины, споры буро-коричневые. Условия для развития: температура 1—10° С, влажность 40—80%.

Пленчатый домовый гриб поражает все древесные породы. Характер разрушений тот же, что и настоящим домовым грибом.

Шпальный гриб (*Lentinus squamosus*) развивается преимущественно на хвойных породах. Грибница начинает развиваться в трещинах в виде небольших бархатистых белых иногда с коричневыми участками пленок. Грибница образует шляпочные пластинчатые плодовые тела беловатого и светло-желтого цвета с темными чешуйками.

Ножки гриба — центральные, плотные, внизу деревянистые. При недостатке света плодовые тела гриба имеют вид вертящихся выростов, напоминающих оленьи рога и кораллы. Пораженная этим грибом древесина издает легкий приятный запах. В конечной стадии поражения древесина распадается на длинные продольные отдельности.

§ 109. ПРЕДОХРАНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ОТ РАЗРУШЕНИЯ

Древесина, находящаяся на складах, в сооружениях, может подвергаться разрушениям, вызываемым грибами и насекомыми. Бактерии, хотя непосредственно и не разрушают древесину, но значительно ускоряют процессы разрушения, вызываемые грибами. Различные древесные породы оказывают различную сопротивляе-

мость разрушающей деятельности грибов и насекомых. Способность древесины противостоять гниению и повреждению насекомыми называют ее *стойкостью*. Стойкость древесины зависит от ее строения, состава и от условий, в которых она находится. Более плотная древесина с большим содержанием летней древесины с дубильными веществами более стойка. Сухая, окоренная (без луба) древесина, хранящаяся в светлых, хорошо проветриваемых местах, сохраняет продолжительное время, хотя на воздухе и происходит окисление некоторых веществ древесины (при этом затрагиваются только верхние части), в результате чего поверхность ее темнеет.

Древесина некоторых пород, находящаяся в воде, не только не разрушается, но, наоборот, прочность ее возрастает. Также хорошо сохраняется дерево в глинистом грунте и во влажном песке, но тот же сортament в сухом грыхлом песке и в карбонатном грунте довольно быстро разрушается.

Способы консервации древесины могут быть *профилактические* (предупредительные) и *механические* (удаление зараженных мест древесины). Профилактическими мерами против разрушения древесины стремятся придать сортаменту поверхность, не проникаемую для вредных организмов, и, кроме того, освободить древесину от вредной влаги и питательных соков. Наконец, в качестве профилактических мероприятий древесину подвергают соответствующей обработке, в результате которой свертываются белковые вещества, которые уже не могут служить пищей для грибов. Предохранять древесину от разрушения грибами и насекомыми можно разными способами: окраской и обмазкой, выщелачиванием и пропиткой древесины антисептиками. Кроме того, для древесины, находящейся на складах и в сооружениях, создают наилучшие условия для сохранения. В зависимости от предполагаемого применения древесины выбирают тот или иной способ ее консервирования.

Окраска и обмазка. Покрытие поверхности древесины слоем масляной краски, лака или олифы значительно увеличивает срок ее службы. Краска должна покрывать поверхность сплошным слоем, причем окрашиваемая древесина должна быть сухой; древесина, окрашенная во влажном состоянии, может загнить даже быстрее, чем неокрашенная. Обмазка сухой древесины смолой также значительно увеличивает срок ее службы. Древесная смола в данном случае играет роль не только красителя, но является также антисептиком, хотя и слабым.

Растительные соки можно удалить *выщелачиванием* древесины в холодной воде, в процессе сплава леса или специальным затопливанием в текучей воде. Кроме того, применяют вываривание в горячей воде в специальных устройствах. В этом случае процесс выщелачивания заканчивается в течение нескольких часов.

Обработка древесины антисептиками. Антисептиками называют вещества, которые оказывают ядовитое (токсическое) действие на организмы, вызывающие гниение древесины. Антисептики должны удовлетворять следующим условиям: убивать вредные организмы и быть стойкими, по возможности, на срок, предусмотренный тре-

бованиями эксплуатации элементов сооружений; хорошо проникать в древесину; не оказывать вредного влияния на древесину и металлические крепления; не увеличивать резко гигроскопичность; не издавать неприятного запаха и не быть ядовитыми для человека и в соответствующих случаях для домашних животных. Антисептики делятся на водорастворимые, применяемые в виде растворов, масляные и пасты.

Водорастворимые антисептики применяют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации не будет подвергаться воздействию влаги. К этой группе относятся следующие наиболее употребляемые антисептики:

фтористый натрий технический порошкообразного вида, содержащий 86—96% NaF — это белый порошок, не разрушающий дерева и железа. Для пропитки и обмазки древесины фтористый натрий применяют в виде горячего 3-процентного раствора при 15°С и 4,5-процентного при 30°С;

кремнийфтористый натрий Na_2SiF_6 — слаборастворимая соль, по антисептическим свойствам близкая к фтористому натрию, ее употребляют в виде горячего раствора в смеси с фтористым натрием в пропорции 1:3 (растворимость 2,4%). Фтористый натрий нельзя применять в смеси с известью, мелом, гипсом;

хлористый цинк ZnCl_2 — сильно гигроскопичная соль, содержащая 48% металлического цинка; легко растворяется в воде, корродирует металл. Так как концентрированный раствор хлористого цинка растворяет клетчатку древесины, его применяют для обработки дерева в виде раствора с концентрацией не выше 5%. Хлористым цинком не допускается антисептировать шпалы и столбы с электропроводкой;

медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ употребляют в виде 10-процентного раствора. Растворимость его в воде при комнатной температуре 28%. Медный купорос — хороший антисептик против домовых грибов. Более слабыми антисептиками являются 5-процентный раствор железного купороса и 15-процентный раствор поваренной соли;

динитрофенолят натрия содержит динитрофенола не менее 77%; растворимость динитрофенолята натрия — 4,4% при 23°С и 27,4% при 85°С; в сухом виде взрывоопасен. Окрашивает древесину в ярко-желтый цвет, металл не корродирует. Его нельзя применять в порошкообразном состоянии, а также для антисептирования элементов, которые будут находиться вблизи нагреваемых поверхностей и в подземных сооружениях.

Масляные антисептики применяют для консервации древесины, находящейся на открытом воздухе, в грунте или в воде, путем обмазки и пропитки. Наиболее употребляемые масляные антисептики следующие:

каменноугольное креозотовое масло — погон при дистилляции каменноугольного дегтя при 250—280°С; темная зеленоватая флуоресцирующая жидкость издает тяжелый, неприятный запах. Это масло обладает сильным антисептическим действием, не улетучивается, не выщелачивается и не разрушает дерева и металл. Крео-

зотовое масло применяют в подогретом до 50—60°С состоянии. При обмазке недостаточно сухой древесины масло проникает вглубь на 1—2 мм и покрывает поверхность древесины сплошным слоем, затрудняя тем самым ее просыхание;

антраценовое масло — погон при фракционированной разгонке каменноугольного дегтя при 270—410°С; грязного, буровато-зеленого цвета; плотность не более 1,15. Применяют так же, как и креозотовое масло;

фенолы ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) и **крезолы** ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) применяют как антисептики в смеси с другими веществами (например, нитрофенолы, крезолат кальция и др.);

нефть, которую иногда применяют для консервации дерева, обладает слабым антисептическим действием;

сланцевое масло, получаемое при перегонке горючего сланца, обладает более слабыми антисептическими свойствами, чем креозотовое масло.

Антисептические пасты по виду вяжущих материалов могут быть битумные (или дегтевые), экстрактовые и силикатные. По содержанию в пасте антисептика на 1 м² обрабатываемой поверхности древесины их делят на пасты марки 100, содержащие антисептика не менее 100 г/м², и пасты марки 200, содержащие антисептики не менее 200 г/м². Наиболее употребимые антисептические пасты следующие:

битумные пасты состоят из смеси фтористого натрия (30—50%), торфяного порошка (5—7%), нефтяного битума БН-III или БН-IV (до 30%) и зеленого нефтяного масла (до 30%). Процесс изготовления пасты следующий: в расплавленный обезвоженный битум при 160—180°С постепенно при постоянном перемешивании добавляют зеленое масло, а затем осторожно вводят порошок фтористого натрия и торфа. Перемешиванием смесь доводят до однородного состояния. Взамен фтористого натрия в пасту можно вводить *триолит* (смесь технического фтористого натрия 78%, динитрофенола 18% и хромовокислого натрия или калия 9%) или *уралит* (смесь технического фтористого натрия 85%, динитрофенола 15%). Битумные пасты водостойки;

экстрактовые пасты состоят из фтористого натрия (или урала, триолита), экстракта сульфитных щелоков (или глины) и воды. Экстрактные пасты могут быть также изготовлены из смеси кремнийфтористого натрия, кальцинированной воды, экстракта сульфитных щелоков (или глины) и воды. Экстрактные пасты неводостойки;

силикатные пасты затворяют на жидком стекле с кремнийфтористым натрием.

Антисептические пасты применяют как обмазки: марки 100 — для тонких деревянных элементов, работающих в условиях повышенной влажности; марки 200 — для массивных элементов в тех же условиях. Для бревен, столбов, работающих в грунтах с переменной влажностью, нанесенный слой пасты необходимо защищать гидроизоляцией (например, толем, рубероидом). Места со значительными повреждениями грибами и насекомыми не только резко

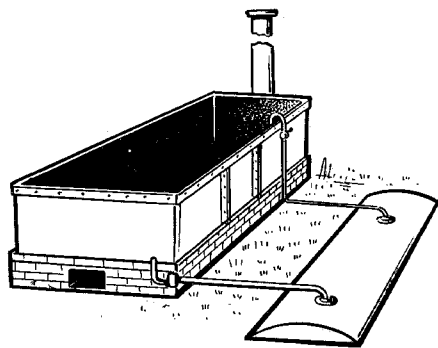


Рис. 199. Резервуар для пропитки древесины при нормальном атмосферном давлении

снижают механические свойства дерева, но являются очагом заразы для всей древесины. Обнаруженные очаги гниения обрабатывают сильнодействующими антисептиками и для предотвращения распространения их удаляют и сжигают.

Пропитка древесины антисептиками. Древесину пропитывают антисептиками путем свободного вымачивания или под давлением.

При вымачивании сухую древесину погружают в бетонный бассейн (рис. 199), на-

полненный раствором антисептика, где ее выдерживают 7—15 дней.

При пропитке в горяче-холодных ваннах древесину сначала погружают в раствор антисептика, нагретого до 90—95°С, в котором выдерживают ее несколько часов. При этом древесина нагревается, и воздух, находящийся в ее сосудах, частично удаляется.

Затем древесину переносят в бассейн с раствором холодного антисептика, который и проникает в освобожденные от воздуха сосуды. Способ горяче-холодной ванны обеспечивает значительно больший эффект, чем холодная пропитка. Сосна, например, по этому способу пропитывается так же, как и при пропитке под давлением.

Древесину пропитывают водным и масляными антисептиками под давлением в специальных стальных цилиндрических котлах-ретортах (рис. 200) с рабочим давлением в 6—8 кгс/см². Пропитка состоит из следующих процессов: лесоматериал загружают в пропиточный бак и герметически закрывают крышкой. В баке создается вакуум, при котором материал выдерживают некоторое время для удаления воздуха из древесины; затем бак наполняют антисептиком и создают в нем давление 6—8 кгс/см², после этого давление

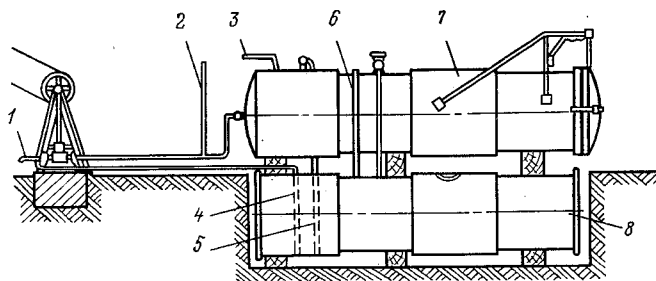


Рис. 200. Установка для пропитки древесины под давлением: 1 — труба для выхода воздуха; 2 — труба, всасывающая воздух; 3 — труба, нагнетающая воздух; 4 — всасывающая труба; 5 — спускная труба; 6 — воздушная труба; 7 — пропиточный бак; 8 — запасный бак

доводят до нормального, выпускают антисептик и извлекают из бака пропитанный антисептиком лесоматериал.

При пропитке древесины масляными антисептиками (например, креозотовым маслом) их предварительно подогревают до определенной температуры для того, чтобы температура антисептика в баке при пропитке не снижалась более установленного предела. Пропитывать древесину можно в вакуумных установках.

Бандажный способ обработки

древесины антисептиками заключается в том, что защищаемый участок сортамента обвертывают бандажом из двух слоев, между которыми наносят антисептик — пасту. Наружную поверхность ткани обмазывают водонепроницаемым веществом. При этом способе почвенная вода, попадающая в дерево через его нижнюю часть, передвигается вверх вследствие высыхания надземной части столба или сваи. По мере движения вода растворяет пасту-антисептик и пропитывает им верхнюю часть столба или сваи.

Защиту древесины антисептиками применяют в мостовом и дорожном строительстве. Защитными веществами пропитывают деревянные части мостов, труб, лотки, столбы и другие конструктивные элементы. В табл. 128 приведены данные о сроках службы в неблагоприятных условиях древесины (шпал) непропитанной и пропитанной креозотовым маслом и хлористым цинком.

§ 110. ПРЕДОХРАНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ОГНЯ

Легкая воспламеняемость дерева — один из существенных его недостатков. При действии на древесину высоких температур она претерпевает ряд глубоких химических изменений. С химической точки зрения древесина неспособна гореть, горят лишь продукты ее распада. Вначале должно быть затрачено тепло для достижения первой фазы распада древесины, затем наступает вторая фаза, при которой выделяется тепло. Хотя в пределах 100—200°С древесина несколько улучшает свои свойства за счет образования некоторых высокомолекулярных веществ, но уже при 165°С древесина разлагается с выделением негорючих газов. Горючие газы появляются при 170—200°С, бурное же их выделение происходит при 275—280°С. Точка воспламенения для отдельных пород дерева находится в различных температурных пределах: для сухой сосны, например, она равна 130°С, для дуба — 245°С.

Применяемые в настоящее время различные способы предохранения древесины от огня уменьшают только ее воспламеняемость, но способность тлеть дерево при этом не утрачивает. Для предохра-

Порода дерева	Средний срок службы, лет		
	Непропитанная	Пропитанная креозотовым маслом	Пропитанная хлористым цинком
Сосна	6—8	20	≤ 15
Лиственница	8—10	20	—
Ель	4—5	—	≤ 10
Дуб	12—15	25	≤ 18
Бук	2—3	30	≤ 10

нения от огня поверхность дерева покрывают огнезащитными красками или пропитывают древесину *антипиренами* — особыми химическими веществами.

Огнезащитные краски по составу делят на силикатные, казеиновые, масляные и хлорвиниловые.

Силикатные краски изготавливают на жидком стекле; эти краски обладают более высокими огнезащитными свойствами, чем несиликатные. Примерные составы силикатных красок и способ нанесения их следующие:

1) мелкомолотый полевой шпат (25 частей) смешивают с цинковыми белилами (1 часть) и разводят в воде (20 частей), а затем в эту смесь добавляют жидкое стекло (20 частей);

2) дерево покрывают слоем разведенного в воде жидкого стекла; после высыхания дерево покрывают краской, составленной из жидкого стекла, мучного клейстера и минеральной краски; затем поверхность обрабатывают известковой водой;

3) доломитно-силикатная краска состоит из следующих веществ: раствора жидкого стекла (100 частей), мела (100 частей), магнезита каустического (50 частей), мумии (15 частей), воды (100 частей).

Силикатные и несиликатные краски наносят на поверхность кистью, так же как и масляные краски.

Огнезащитные составы или антипирены представляют собой более надежное средство в борьбе с воспламеняемостью древесины. Применение их основано на том, что они при высокой температуре плавятся или выделяют газы, препятствующие горению.

Из большого количества различных огнезащитных составов приведем для примера только некоторые:

Составы (в частях)

	N 1	N 2	N 3
Сернокислого аммония	15	20	23
Буры	3	5	—
Фосфорнокислого натрия	5	—	—
Воды	77	75	77

Известны комбинированные пропитки: вначале древесину пропитывают водным раствором солей, а затем обрабатывают газообразным аммиаком и другими веществами.

Антипиренами пропитывают сухую древесину, при этом количество сорбированного антипирена зависит от плотности древесины, наличия ядра или заболони, смолистости и т. д. Равномерно пропитанное антипиреном дерево при высокой температуре не воспламеняется, а только тлеет.

§ 111. ЗАГОТОВКА И СУШКА ДРЕВЕСИНЫ

Древесину можно заготавливать круглый год, причем лучшим временем для заготовки считается осенне-зимний период. Хотя влажность древесины мало изменяется в различные времена года, но к зимнему периоду количество питательных соков уменьшается, и, кроме того, последний годичный слой ствола состоит из плотной летней древесины.

Древесина срубленные в осенне-зимний период, при естественной сушке высыхают медленно и равномерно, вследствие чего меньше образуется трещин. Древесина весенней и летней рубки имеет последний годичный слой весенней рыхлой ткани; она более подвержена загниванию, а при естественной сушке больше трескается.

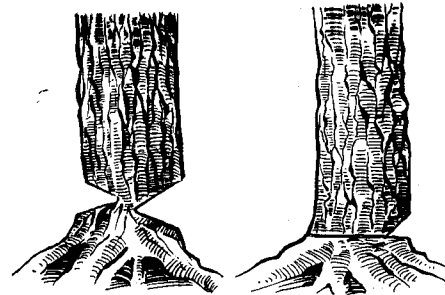


Рис. 201. Надруб и надпил ствола

Заготовка древесины состоит из следующих процессов: валки леса, разделки деревьев и сушки.

Валка. Ствол дерева подрубают с той стороны, куда оно должно быть повалено, а затем подпиливают или реже надрубают несколько выше с противоположной стороны (рис. 201). Надруб делают так, чтобы оставался пень не более $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ диаметра ствола. Как общее правило, дерево валят в сторону наклона и по направлению ветра, но с учетом и других условий. Во избежание поломок и трещин ствола не следует, например, валить деревья одно на другое, через овраги и т. п. При использовании пил для валки леса пропили с одной стороны, куда намереваются повалить дерево, делают такой же формы, как и при подрубе топором.

Разделка. Ствол срубленного дерева освобождают от ветвей, сучьев, наростов и коры, затем разметчики-бракеры размечают дерево на деловую и дровяную древесину и распиливают механическими пилами на отдельные сортаменты. Чаще окорку (удаление коры) и окончательную распиловку дерева по сортаментам производят на лесопильных заводах или строительных площадках, т. е. после вывозки.

Сушка. Свежесрубленная древесина легко загнивает и имеет меньшую прочность, чем сухая. Влажная древесина хуже обрабатывается и имеет большую объемную массу, что увеличивает транспортные расходы. Высушивание дерева до определенной влажности предохраняет его от коробления и растрескивания, поэтому при заготовке лесоматериалов одной из важных операций является сушка древесины, которая может быть естественной на воздухе и искусственной в сушильнях.

Естественная сушка. При естественной сушке лесоматериалы складывают штабелями на подготовленных открытых площадках или под навесом. Под склад выбирают ровную, очищенную площадку, расположенную на сухом, хорошо дренируемом грунте. Мусор (кора, щепки и пр.) необходимо убрать с площадки для предохранения древесины от загнивания. Бревна укладывают на прокладки из жердей в штабеля на некотором расстоянии друг от друга комлями в одну сторону. Верхний ряд кладут с некоторым наклоном или покрывают досками для защиты от дождя. Круглые бревна

часто складывают неокоренными, чтобы предохранить их от растрескивания при быстром высыхании. С той же целью, а также для защиты от загнивания торцы бревен промазывают раствором извести, жидкого клея, поваренной соли и другими веществами.

Доски укладывают в штабеля плашмя (рис. 202), на некотором расстоянии одна от другой, а самый верхний ряд — сплошь и с наклоном для стока атмосферных вод. Между штабелями должны быть оставлены места для проезда. Сушку древесины под открытыми и закрытыми навесами (одно- и двускатными) применяют главным образом, для различных пиломатериалов. Под навесами древесину укладывают также в штабеля.

При сушке древесина теряет около 75% влаги. Естественная сушка требует продолжительного времени и зависит от самой древесины, толщины сортамента, от погодных условий и способа укладки. Хвойные и мягкие лиственные породы в зависимости от толщины сортамента просыхают в течение 1—2 лет. Твердые лиственные породы просыхают в более длительный срок. Скорость просыхания принимается примерно один год на 1 см толщины. Естественную сушку используют для древесины, предназначенной преимущественно для применения ее на открытом воздухе. Хотя сушка древесины на воздухе длительна и зависит от ряда внешних причин, но к ней прибегают чаще из соображений экономического порядка и местных условий.

Искусственная сушка. Вследствие того, что древесина, высушенная на воздухе, сохраняет еще некоторое количество влаги, ее не рекомендуется применять в сухих помещениях для различных изделий, так как она при окончательном высыхании может потрескаться и покоробиться. Для этих целей, а также для ускорения просыхания древесины пользуются искусственной сушкой в специальных сушильных устройствах (рис. 203) и сушилках с искусственной циркуляцией воздуха.

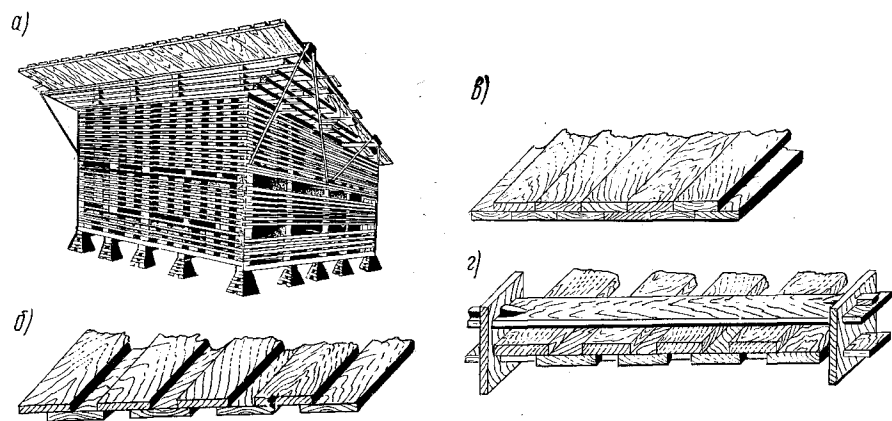


Рис. 202. Естественная сушка досок:

а — штабель; б — покрытие штабеля вразбежку; в — то же, встык; г — прижим концов досок покрытия штабеля

куляцией воздуха. Наиболее часто древесину сушат подогретым воздухом, который нагнетают в камеры сушильни электровентилятором. В зависимости от сортамента и устройства сушильни устанавливают тот или иной режим сушки, причем независимо от выбранного способа сушки необходимо соблюдать следующие условия:

1) температура в камере должна подниматься постепенно, чтобы не вызвать неравномерного удаления влаги из толщи древесины, так как при этом она может потрескаться и покоробиться; быстрое повышение температуры в камере может вызвать не только растрескивание древесины, но и загустение растительных соков в поверхностном слое древесины, что затруднит дальнейшее просыхание ее; в этом случае произойдет так называемая *поверхностная засуха или закаливание дерева*; 2) к концу сушки температура должна медленно снижаться; 3) в процессе сушки в камере выдерживается определенная влажность воздуха.

Обычно сушку древесины начинают с пропаривания путем впуска в камеру, загруженную древесиной, воздуха, подогретого до 70—80°С и с относительной влажностью 100%. В результате пропаривания волокна древесины несколько набухают, что облегчает удаление влаги из древесины, а также устраняет возможность образования в дальнейшем поверхностной засухи. Затем влажность циркулирующего воздуха постепенно снижают, понижая одновременно и его температуру (примерно на 10°С), чем обеспечивают **равномерное просыхание древесины**. Когда сушка заканчивается, древесину в камере охлаждают более холодным воздухом.

В некоторых случаях применяют так называемые вакуумные сушилки, которые представляют собой герметически закрывающиеся цилиндрические котлы. Сушка древесины в вакуумных сушилках состоит из следующих процессов: древесину подогревают и выдерживают некоторое время (1—2 ч) при 90—95°С. Когда воздух в котле будет насыщен парами воды, при помощи вакуум-насоса из котла откачивают воздух и древесина выдерживается в течение 2—4 ч в разреженном пространстве; температуру при этом снижают до 30°С. Затем древесину снова подогревают до 90—95°С, отсасывают воздух и понижают температуру. Весь процесс сушки в ваку-

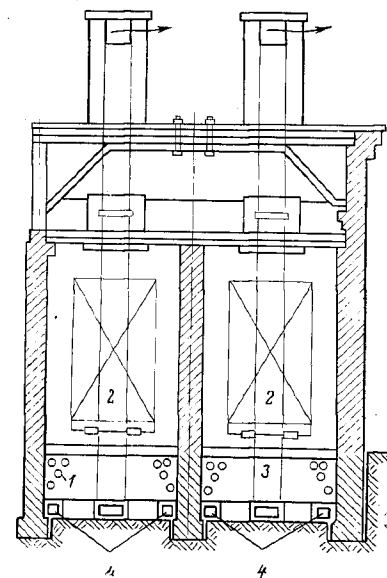


Рис. 203. Поперечный разрез двух сушильных камер:

1 — калорифер из ребристых труб; 2 — вагонетки с лесоматериалами; 3 — отводной канал для удаления насыщенного влагой воздуха; 4 — каналы для просушки свежего воздуха

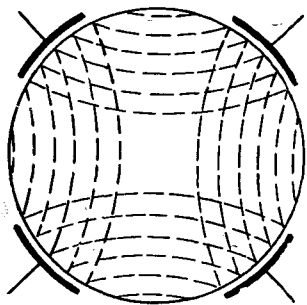


Рис. 204. Схема расположения электродов при сушке бревен в поле токов высокой частоты

энергию, которая равномерно распределяется по всей толще и высушивает сортament. Сушка древесины токами высокой частоты имеет существенные преимущества перед другими способами по срокам и по качеству (отсутствие растрескивания, коробления и пр.).

Проф. А. И. Фоломин предложил сушить древесину в ваннах с подогретым *петролатумом*. Петролатум — вазелинообразный нефтепродукт светло-коричневого цвета, представляющий собой смесь парафинов и церезинов с высоковязким очищенным маслом. Погруженный в ванну влажный сортament при медленном подогреве петролатума до 80°С равномерно выделяет воду, при этом древесина не коробится и не растрескивается. Этот способ ускоряет сушку в 15 раз по сравнению со способом высушивания древесины в сушилках.

§ 112. СОРТАМЕНТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВСИНЫ

Древесные породы, из которых изготовляют строительный и делочный материал, имеют общее название *делового леса*. Лесные древесные материалы одного наименования, одного и того же способа обработки, одинаковой формы и изготовленные из определенной древесной породы называются *сортаментом*.

Все сортаменты лесных древесных материалов, употребляющиеся в строительстве и промышленности, по способу обработки делят на две большие группы: круглый, или необработанный лес, и обработанный лес.

Круглый лес — обрезки ствола дерева разных размеров, очищенного от сучьев, а часто и от коры. Круглый лес в зависимости от породы дерева и его назначения делят на следующие сортаменты: а) круглый лес, предназначенный к использованию без обработки; б) круглый лес, предназначенный для механической обработки; в) круглый лес, предназначенный для химической обработки.

Круглый лес, предназначенный к использованию без обработки, делят на следующие сортаменты: бревна строительные, телеграф-

ум-сушилках заканчивается в течение примерно 30 ч. Для ускорения сушки, а также для экономии топлива лесные материалы предварительно укладывают на тележки, которые по рельсам вкатывают в сушильные камеры и оставляют до момента высыхания материала.

Иногда древесину сушат токами высокой частоты, т. е. на подготовленный сортament устанавливают два — четыре сетчатых электрода (рис. 204), к которым подводят ток от генератора. Переменный ток, проходя через толщу сортамента, превращается в тепловую

ные столбы, сваи, мачты, подтоварник, жерди, рудничные стойки, колья для снеговых щитов, колья увязочные.

Бревна строительные изготовляют главным образом из хвойных пород (сосны, ели, лиственницы, кедра) и в редких случаях из лиственных (например, из дуба). По размерам эти бревна могут быть длиной от 2 до 16 м и толщиной 12 см и более. В зависимости от качества, а также наличия пороков строительные бревна делят на три сорта (первый сорт более высокого качества).

Бревна для воздушной линии связи изготовляют главным образом из сосны и ели, реже из дуба и лиственницы. Эти бревна должны иметь определенную сбежистость, т. е. определенное соотношение длины и толщины.

Сваи изготовляют преимущественно из сосны, лиственницы и ели длиной от 5 до 18 м, толщиной в верхнем отрубе 18—30 см, а на расстоянии 1 м от комля — не менее 23 см. Сваи должны быть прямыми, сучковатость их не ограничивается.

Мачты изготовляют из мачтового леса по специальным заказам.

Подтоварник представляет собой тонкий кругляк диаметром в верхнем отрубе 8—15 см и длиной от 3 до 9 м; употребляют для различных целей.

Жерди изготовляют из хвойного леса диаметром от 3 до 7 см длиной 3—9 м.

Рудничная стойка употребляется для крепления в шахтах. Длина рудничной стойки — от 0,5 до 3,5 м, толщина — 7—23 см.

Колья для снеговых щитов изготовляют из разных пород. Длина кола не менее 2,85 м; толщина в нижнем отрубе 9 см, в верхнем — 6 см. Толстый конец должен быть отесан (заострен) с трех сторон на высоту 8 см. Круглый лес для механической обработки разделяют на следующие сортаменты: сырье обыкновенное пиловочное, сырье для лущения, сырье для тески, сырье клепочное и сырье для строганой фанеры. Длина бревен пиловочного сырья из хвойных пород должна быть от 4 до 6,5 м, толщина — от 16 см и выше. Толстые бревна расценивают дороже (за 1 м³), чем тонкие, так как дают больший выход пиловочного материала. По качеству древесины и наличию пороков пиловочное сырье делят на три сорта. Кроме бревен для распиловки, вырабатывают другие сортаменты пиловочного сырья. К ним относят: кряжи для авиастроения, кряжи резонансовые, бревна пиловочные (экспортные), кряжи лиственных пород для внутрисюжного потребления и экспортные. *Кряжами* называют толстые бревна, заготавливаемые для специального назначения. К этому сырью предъявляют высокие требования в отношении качества древесины и наличия пороков.

Сырье для лущения служит для изготовления фанеры и спичек. Фанерное сырье изготовляют преимущественно в виде березовых, ольховых и осиновых кряжей размером, соответствующим рабочей части лущильных станков.

Сырье для тески (или шпальное сырье) изготовляют в виде кряжей длиной 2,7 м или длиной, кратной длине шпалы. Толщина этих кряжей колеблется в пределах 23—31 см. Шпальное сырье изго-

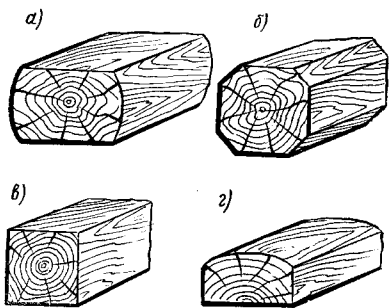


Рис. 205. Брусья:

а — лежень; б — тупокантный брус; в — острокантный брус; г — голландский брус

товляют преимущественно из сосны и лиственницы, в ограниченном количестве — из ели и в очень небольшом количестве — из дуба, бука и других пород. Кроме краёв, как сырья для шпал, заготавливают также краёв для переводных брусков (шпалы под стрелочными переводами), мостовых брусков и др.

Дрова в зависимости от их назначения разделяют на дрова для дубильно-экстрактивного производства, для сухой перегонки и для отопления. Качество дров зависит от породы дерева.

Обработанный лес. Сортаменты обработанного леса в зависимости от способа обработки делят на пиленный (или тесаный), колотый и лущеный. К сортаментам пиленного или тесаного леса относят брусья, доски, бруски и шпалы. Указанные сортаменты пиленного леса делят, кроме того, на материалы из хвойного или лиственного леса.

Брусья строительные (рис. 205) представляют собой бревна, обработанные с двух или четырех сторон таким образом, что они имеют параллельные плоскости. В зависимости от количества обработанных сторон различают брусья двухкантные и четырехкантные. По чистоте обработки четырехкантные брусья могут быть тупокантные и острокантные.

Кроме того, круглые строительные бревна могут распиливаться по диаметру или по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. В первом случае получают пластины, а во втором — четвертины (рис. 206).

В зависимости от качества древесины брусья разделяют на отборный материал (для ответственных сооружений) и рядовой, который, в свою очередь, делят на пять сортов. Размеры строительных брусков: длина от 1 до 7 м и толщина 110—225 мм.

Доски и бруски представляют собой пиленный материал правильного прямоугольного или приближающегося к нему сечения, получаемый из хвойных и лиственных пород. В досках ширина материала превышает в 3 раза и более его толщину; в брусках толщина материала составляет более $\frac{1}{3}$ ширины. В зависимости от чистоты обработки доски делят на чистообрезные от распиловки бруса и полуобрезные, полученные при распиловке круглого пиловочного леса (рис. 207). Обрезной пиломатериал может иметь различную степень чистоты обрезки, характеризующую наличием и степенью непропилов или так называемых обзолов. Различают обзолы тупые и острые. Доски, обрезанные только с одной стороны (отпиленные снаружи круглого бревна), называются горбылями.

По качеству древесины доски и бруски разделяют на отборные и рядовые. Рядовые, в свою очередь, разделяют на пять сортов. Размеры досок и брусков устанавливают: по длине — от 1 до 7 м (через каждые 0,5 м); по ширине — от 8 до 300 мм; по толщине — от 8 до 100 мм.

Пилёные доски и бруски можно изготавливать и в строганом виде. Строганные доски и бруски различают по форме поперечного сечения: строганные с плоским профилем, т. е. сохранившие форму поперечного сечения нестроганого пиломатериала; шпунтовые, если пиломатериал с плоским профилем имеет на краях на одной стороне шпунт (выемку) для плотного соединения, а на другой — соответствующий гребень (выступ). В зависимости от поперечного профиля шпунта различают шпунтовые доски и бруски прямоугольные, трапециевидные, сегментные, треугольные (рис. 208).

Шпалы изготавливают из круглого леса обработкой на два или четыре канта. Шпалы имеют длину 2,5—2,7 м для широкой колеи и 1,8; 1,5 и 1,35 м — для узкой колеи. Размеры поперечного сечения и форма шпал показаны на рис. 240. Для железнодорожных стрелочных переводов изготавливают специальные переводные брусья.

Планки для снеговых щитов представляют собой пиленный материал из любой древесной породы.

Колотый лес изготавливают путем раскалывания краёв почти исключительно лиственных пород. Вследствие того, что при раскалывании не перерезаются волокна древесины, колотый лес в отличие от пиленного обладает большей прочностью, упругостью и малой изменчивостью формы. К сортаментам колотого леса относят клепку (бруски), ободья, полозья, спицы. Клепка идет главным образом для изготовления бочек.

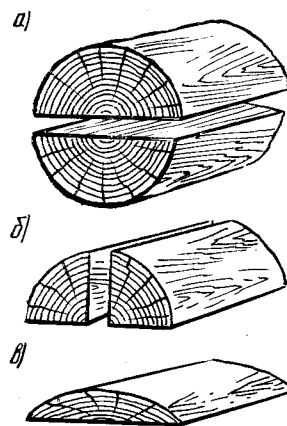


Рис. 206. Элементы распиленного круглого дерева:
а — пластина; б — четвертина;
в — горбыль

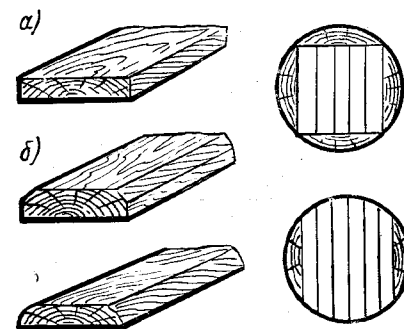


Рис. 207. Доски:
а — чистообрезные; б — полуобрезные

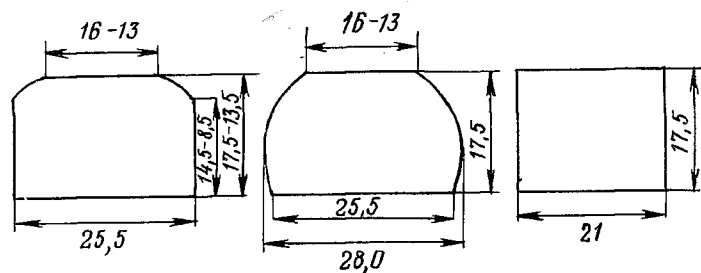
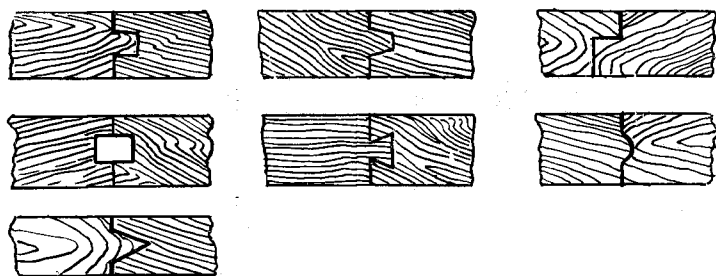


Рис. 208. Шпунтовые доски (сверху) и шпалы (снизу)

Шашка из древесины. Деревянная шашка для торцовых мостовых и полов (рис. 209) представляет собой бруски обычно четырех- или шестигранной формы, изготовленные из ядровой мелкослойной древесины сосны и лиственницы, реже из ели. Размеры четырехгранной шашки следующие: длина от 15 до 25 см, ширина 7—8 см и высота 8—5; 10 и 12,5 см; шестигранной: диаметр 25 см, высота 12—18 см. При изготовлении шашки влажность древесины должна быть не больше 30%. Для предохранения от загнивания шашку пропитывают креозотовым маслом или другими водостойкими антисептиками.

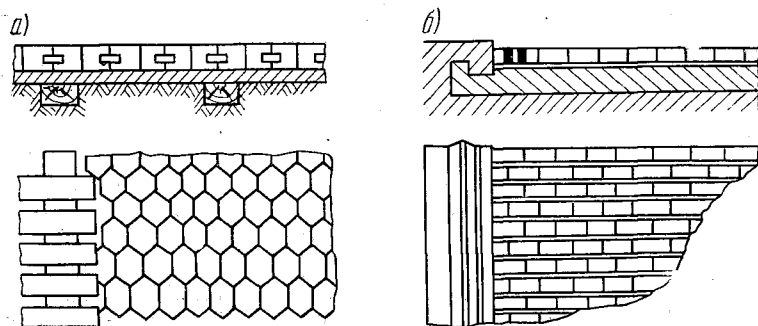


Рис. 209. Торцовая мостовая из деревянной шашки:
а — шестигранной; б — параллелепипедной

Лущеные лесные сортаменты изготавливают путем снятия с кругляка спиральной стружки-шпона (рис. 210) в тангенциальном направлении на лущильном станке. Из шпона изготовляют *фанеру*, которую склеивают из нечетного числа шпонов так, чтобы волокна древесины шпонов, прилегающих друг к другу, были взаимно перпендикулярны. Полученная таким образом фанера устраняет некоторые недостатки древесины: неодинаковое сопротивление усилиям в разных направлениях, коробление и др. Фанеру выпускают толщиной 1—12 мм.

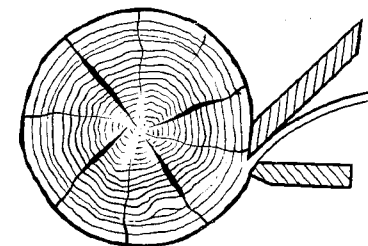


Рис. 210. Схема снятия шпона

Древесноволокнистые, древесностружечные плиты изготовляют из древесноволокнистой массы, стружки, опилок. Сырьем для производства плит служит неделовая древесина и отходы.

Технология производства включает следующие операции:

разделка древесины и отходов на щепу, пропаривание и размол на волокнистую массу;

смешение ее с 4—5% фенолоформальдегидной смолой с необходимыми добавками (гидрофобными, антисептиками и др.);

формовка подготовленной волокнистой массы на длинносетчатых отливочных машинах, на которых удаляется излишняя вода до потребной консистенции и далее формовка в непрерывную ленту необходимой толщины.

По выходе из машины ленту разрезают на листы заданной длины, после чего листы подвергают горячему прессованию на гидравлическом прессе и выдерживают в камерах при температуре 110—120°С в течение 4—7 ч. Последняя операция — обрезка кромок.

Плиты выпускают толщиной до 3 см, длиной 120—540 см и шириной 120—180 см с объемной массой 0,2—1,1 в зависимости от назначения (для изоляции, обшивки перегородок, устройства полов и др.). Древесный шпон, пропитанный бакелитовыми и формальдегидными смолами с последующей горячей прессовкой, называется *балинитом*, или *лигнофолем*.

Дельта-древесину изготовляют из древесного шпона, пропитанного фенольными клеями, укладываемого по 10 шпонов в продольном направлении и по одному шпону — в поперечном направлении. Балинит, лигнофоль и дельта-древесина отличаются высокими физико-механическими свойствами и применяются как конструктивные материалы.

Все большее значение в строительной практике приобретают клееный сортамент (преимущественно плиты, доски, балки, брусья). Для склеивания обычно применяют водостойкие и гнилоустойчивые клеи (например, фенолоформальдегидные).

Металлические материалы

§ 113. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К металлам относится большая группа химических элементов — из 102 известных около 80 являются металлами. Наиболее распространенные металлы: алюминий (содержание в земной коре — 8,8%), железо (5,1%), кальций (3,62%), натрий, калий, магний, титан.

Содержание остальных металлов составляет около 2%. Ряд металлов: цинк, олово, никель, свинец, кобальт, вольфрам, молибден, ванадий, содержатся в тысячных долях процента, но имеют большое значение для получения высококачественных металлов. Такие металлы как кальций, натрий, калий, несмотря на большое их распространение, не применяются для получения конструкционных металлов. В зависимости от свойств металлы разделяют на:

черные — это железо и его сплавы, которые в зависимости от вида и количества примесей (углерода, марганца, никеля, хрома, титана и др.) обладают различными свойствами. Особое место среди металлов занимает железо и, в особенности, его сплавы, составляющие 85—90% всего металла, применяемого в народном хозяйстве;

цветные — объединяют большую группу металлических материалов (алюминий, медь, магний, свинец, олово, цинк, а также их сплавы). В последнее время все большее распространение в строительстве получает алюминий.

Не окисляющиеся на воздухе металлы (золото, платина, серебро) называются *благородными*.

Большой вклад в развитие и изучение металлургических процессов внесли русские ученые П. П. Аносов, П. М. Обухов, а Д. К. Чернов положил начало основам металловедения, сделав величайшее открытие в области структурных превращений в сталях при термической обработке. Академики А. А. Байков и И. П. Бардин вложили много сил для производства специальных видов сталей, улучшения процессов мартеновского и доменного производства. Большой вклад в создание и усовершенствование электрической сварки внесли наши соотечественники Н. Н. Бенардос, Н. Г. Славянов, Е. О. Патон, Б. Е. Патон.

За последние годы советские ученые и практики внедрили вакуумную обработку и непрерывную разливку стали, разработали технологию получения прогрессивных стальных гнутых профилей, решили вопрос получения стали в конверторах, по качеству не уступающую мартеновской. Особенно большие успехи советской науки в разработке и применении в электрометаллургии таких прогрессивных методов производства, как электрошлаковый, плазменнодуговой и электроннодуговой переплавы. Эти методы позволяют получать особокачественные металлы высокой чистоты (содержание вредных примесей может быть доведено до тысячных и даже десятитысячных долей процента).

Электрошлаковая сварка позволяет получать сверхкрупные заготовки (для роторов турбин массой несколько сот тонн) с высокой степенью химической и физической однородности сварных соединений.

Плазменнодуговой метод переплава основан на способности газа в специальном плазмотроне с помощью электрической дуги превращаться в плазму, разогреваясь до температуры 20 000—50 000° С. С помощью такого источника представляется возможность получать слитки с особыми заранее заданными свойствами.

Он позволяет легировать сталь азотом (взамен дефицитного никеля), обрабатывать титан и другие металлы.

Электроннолучевая металлургия основана на плавке металлов в вакуумных агрегатах с помощью мощных пучков электронов — это один из наиболее эффективных способов получения особо чистых металлов.

§ 114. СТРУКТУРА МЕТАЛЛОВ

Характерной особенностью строения металлов является наличие *металлической связи* между атомами. В металлах каждый атом окружен слабосвязанными электронами внешней оболочки. Электронные облака атомов перекрываются, поэтому внешние электроны могут свободно перемещаться и являются как бы общими, не связанными с отдельными атомами. Таким образом, общие электроны образуют электронный газ, который свободно движется между атомами и скрепляет их друг с другом. Эта особенность металлической связи определяет стремление атомов металла располагаться как можно плотнее. Компактная упаковка атомов приводит к повышенной плотности металлов.

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, которое характеризуется определенным, закономерным расположением атомов. Характер расположения атомов и их взаимосвязь определяют вид кристаллических структур, присущий отдельным металлам. Механические свойства в большей мере определяются кристаллической структурой: сопротивление растяжению значительно больше срезающим силам, чем и объясняется пластичность металлов. Установлено, что атомы в кристалле металла образуют пространственную кристаллическую решетку, состоящую из многократно повторяющихся ячеек, имеющих относительно простую форму.

Большинство металлов имеет кубическую объемно-центрированную и кубическую гранецентрированную решетку. Например, хром, ванадий, молибден, вольфрам и некоторые другие металлы имеют кубическую объемно-центрированную решетку, а алюминий, медь, никель, свинец, золото и серебро — кубическую с центрированными гранями. Некоторые металлы, например железо, могут существовать в нескольких кристаллических формах с различным расположением атомов. Это явление называется *аллотропией* (рис. 211).

Железо в чистом виде применяется в ограниченном количестве для специальных целей. Высокая проч-

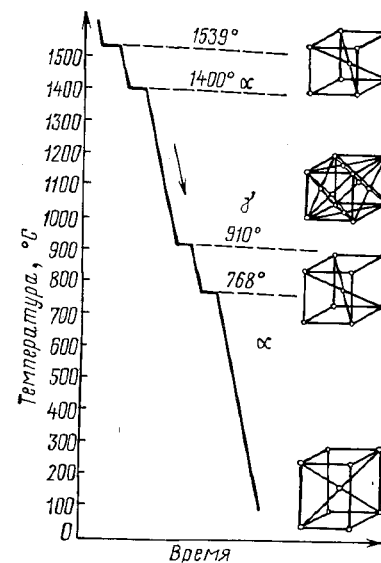


Рис. 211. Изменение кристаллического строения (аллотропия) железа в зависимости от температуры

ность, твердость в широком интервале температур, устойчивость от коррозии достигаются только в сплавах. Компонентами сплавов могут быть металлы — железо, медь, алюминий, свинец, цинк, олово, никель и другие, а также металлоиды — углерод, кремний.

В зависимости от родства (взаимодействия) между компонентами сплавы, в жидком состоянии чаще всего представляющие собой растворы, при затвердевании и кристаллизации могут образовывать химическое соединение, твердый раствор или механическую смесь.

Химические соединения получают при строго определенном соотношении компонентов, они образуют новые кристаллические решетки, отличные от решеток входящих компонентов. Химические соединения отличаются высокой прочностью, твердостью, хрупкостью, например соединение железа с углеродом Fe_3C — карбид железа, называемое *цементитом*.

Твердые растворы представляют собой сплавы, в которых сохраняются решетка растворителя, а атомы растворенного элемента внедряются в кристаллическую решетку (растворы внедрения) или замещают в ней атомы растворителя (растворы замещения).

Механическая смесь состоит из смеси кристалликов чистых элементов, твердых растворов и химических соединений. Механическая смесь двух или нескольких твердых фаз, одновременно кристаллизующихся из жидкой фазы при постоянной и самой низкой для данной системы температуре, называется *эвтектикой*. Структура эвтектоида, например перлит или эвтектики — ледебурит, характеризуется равномерным распределением фаз, одновременно образующихся из жидкости или твердого раствора, и низкой температурой плавления.

Все металлы в зависимости от температуры могут находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии. Переход металлов из жидкого в твердое состояние происходит при температуре затвердевания (кристаллизации), которая колеблется для ртути — 39°C и вольфрама — $+3390^\circ\text{C}$.

При изучении сплавов применяют термический анализ, позволяющий устанавливать зависимость между температурой и структурными превращениями в сплаве. Д. К. Чернов в 1868 г. нашел, что в железоуглеродистых сплавах при нагревании и охлаждении происходит изменение в них структуре (структурные превращения). Температура, при которой происходят эти структурные превращения, называется *критической температурой*. Последующие исследования в области структуры железоуглеродистых сплавов дали возможность построить диаграмму состояния системы железо — углерод (рис. 212). По горизонтальной оси отложено содержание углерода (или цемента Fe_3C) в сплаве, по вертикальной оси — температура. Левая точка диаграммы соответствует чистому железу (Fe), а правая (6,67% C) — цементиту. Любая точка на диаграмме соответствует определенному составу сплава при определенной температуре.

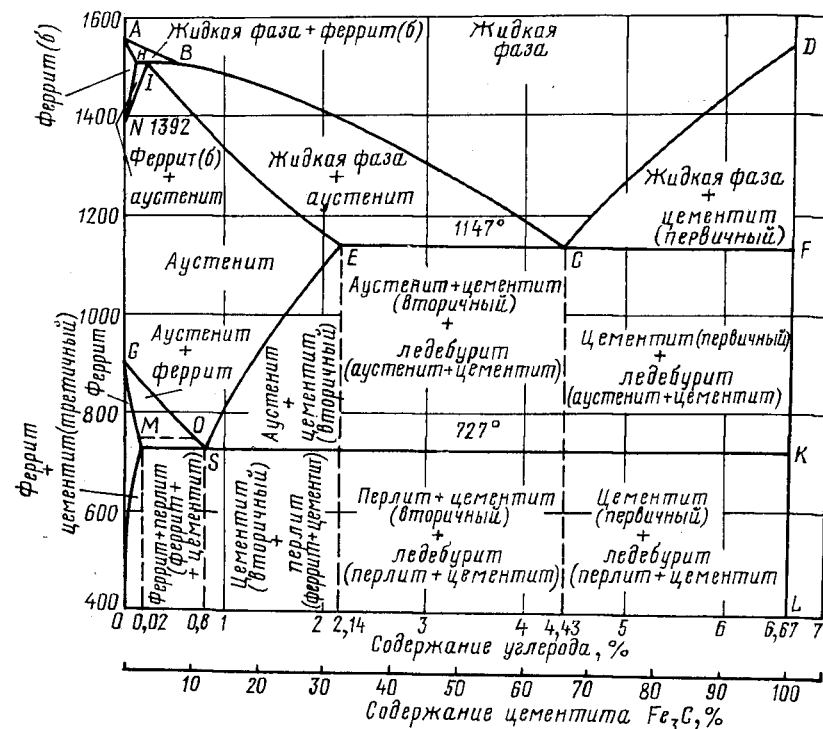


Рис. 212. Диаграмма состояния системы железо — углерод

Выше линии ACD , называемой *линией ликвидус* (см. рис. 212), сплавы находятся в жидком состоянии. При охлаждении сплавов с содержанием углерода от 0 до 4,3% при температурах, лежащих на линии AC , начинают выделяться кристаллы твердого раствора углерода δ .

При понижении температур сплавов, содержащих углерода более 4,3%, при температурах, лежащих на линии CD , из жидкого раствора начинают выделяться кристаллы цементита. В точке C , соответствующей сплаву с содержанием углерода 4,3% при температуре 1130°C , образуется ледебурит (эвтектика).

Затвердевание сплавов кончается при температурах, лежащих на линии $AECF$, которая называется *линией солидус*. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

Область на диаграмме, ограниченная линиями AE , GOS и SE , называется областью твердого раствора (аустенит).

Линия GOS показывает начало выделения феррита из аустенита, линия SE — выделения цементита из аустенита. При температуре 727°C , соответствующей линии MSK , образуется из аустенита перлит. Ниже линии MSK никаких превращений нет и все структур-

ные составляющие сплавов сохраняются при нормальных температурах.

В диаграмме Fe—Fe₃C имеются характерные точки *S*, *E* и *C*. Точка *S* соответствует распаду в твердом состоянии аустенита с содержанием 0,8% углерода при 727°С и называется *точкой эвтектоида*.

Поэтому сплавы с содержанием углерода до 0,8% называют доэвтектоидными, с содержанием углерода 0,8% — эвтектоидными, с содержанием углерода свыше 0,8% — заэвтектоидными.

Структура сплава по линии эвтектоидных превращений *PSK* имеет смесь феррита и цементита и называется перлитом. Точка *C* пересечения линии ликвидуса и солидуса при —1130°С определяется образованием эвтектики (самой низкой температуры первичного кристаллообразования). Структура чугуна, соответствующая содержанию углерода 4,3% называется ледобуритом. Ледобурит состоит из смеси аустенита и цементита.

Ордината, проходящая через точку *E*, делит диаграмму на две части: сплавы с содержанием углерода менее 2,14% называются *сталью*, а с содержанием более 2,14% — *чугунами*.

Основными структурными составляющими железоуглеродистых сплавов являются графит, феррит, цементит, аустенит, а также структуры механических смесей: перлит и ледобурит, обладающие различными свойствами, поэтому количественное содержание их сильно влияет на свойства железоуглеродистых сплавов.

Графит мягок, его плотность 2,25 г/см³, он нарушает сплошность металла, понижая сопротивление растяжению и вязкость, увеличивает хрупкость тем больше, чем крупнее его частицы. Графит характеризует микроструктуру серых литейных чугунов.

Феррит — твердый раствор углерода в αFe, мягкий, вязкий, хорошо куется и сваривается. Чем больше в металле феррита, тем металл мягче, более ковкий и тем больше дает удлинение при растяжении.

Цементит — карбид железа Fe₃C. С увеличением его содержания сначала возрастают твердость и прочность металла (наибольший предел прочности при растяжении — при содержании углерода 1,2%). С дальнейшим увеличением количества цементита сопротивление растяжению падает, вязкость уменьшается, а твердость и хрупкость возрастают.

Аустенит — твердый раствор углерода в γFe. В углеродистых сталях аустенит сохраняется (не распадаясь) при температуре выше 727°С. В легированных сталях, содержащих Mn, Ni, аустенит может быть устойчив при обычных температурах. Аустенит обладает высокой пластичностью и ударной вязкостью. В сталях, кроме углерода, имеются обычно примеси кремния Si, марганца Mn, фосфора P и серы S и могут специально вводиться легирующие добавки (Cr, Si, Mn, Ni, Mo, W, Ti). Они вступают во взаимодействие с углеродом и другими составляющими стали, изменяют ее физические, механические и химические свойства.

Исследование особенностей структуры показало, что большинство металлов имеет зернистую структуру. Зерна имеют неправильную форму размером в десятые доли миллиметра и представляют собой отдельные кристаллы. Таким образом, даже малый образец металла состоит из большого количества различным образом ориентированных кристаллов, соединяющихся между собой общими для них границами (рис. 213).

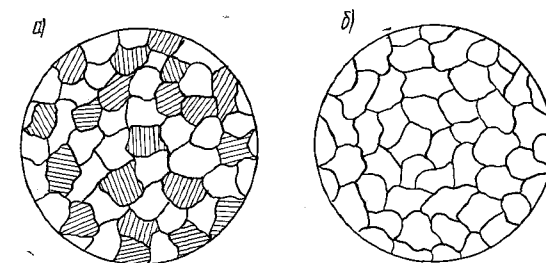


Рис. 213. Схема микроструктуры: а — механическая смесь кристаллов; б — твердый раствор

При охлаждении металла ниже температуры плавления кристаллические зерна растут, практически смыкаясь с ближайшими соседями, и граница между ними вырождается в поверхность раздела, толщина которой не превышает одного-двух межатомных расстояний.

Строение реальных сплавов в значительной степени отличается от идеального кристаллического строения на всех уровнях: субмикро-, микро- и макроскопическом. В реальных сплавах наблюдается нарушение межатомных связей и содержатся химические примеси. Нарушения элементарных ячеек решетки может быть также связано с поликристаллическим строением и т. д. Все эти факторы приводят к нарушению кристаллического строения, появлению несовершенств и дефектов в ее структуре.

§ 115. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Для улучшения свойств стали и чугуна (твердости, прочности, упругости, вязкости) применяют термическую и химико-термическую их обработку. Процесс термической обработки складывается из нагревания изделия с определенной скоростью до заданной температуры, выдерживания изделия при данной температуре до полного нагрева его по всему сечению, завершения в нем фазовых превращений и охлаждения с различной скоростью. Основными видами термической обработки являются: отжиг, закалки, отпуск, нормализация, а химико-термической — цементация, цианирование, азотирование, алитирование и др.

Отжиг стали применяется для снижения твердости, улучшения обрабатываемости, вязкости, снятия внутренних напряжений, уменьшения или устранения структурной неоднородности, измельчения зерен и подготовки стали к последующей термической обработке. Различают следующие основные виды отжига: полный отжиг — нагрев стали до температуры на 30—50°С выше критической (по ли-

нии GS), выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение ($30-20^{\circ}\text{C}$ в 1 ч в зависимости от состава стали). Медленное охлаждение при отжиге необходимо для того, чтобы обеспечить распад аустенита с образованием структуры перлит + феррит в доэвтектоидной стали, перлита в эвтектоидной стали и перлит + цементит в заэвтектоидной стали. Полному отжигу подвергают сортовой прокат, листы, поковки, а также фасонные отливки из углеродистой и легированной сталей;

неполный отжиг — нагрев стали до температуры выше 727°C , выдерживание при этой температуре с последующим медленным охлаждением. При неполном отжиге происходит лишь частичная перекристаллизация стали, избыточный феррит доэвтектоидной или цементит заэвтектоидной стали не переходит в твердый раствор и не подвергается перекристаллизации. Неполный отжиг применяется главным образом для эвтектоидной и заэвтектоидной сталей. В результате отжига сталь приобретает равновесную структуру.

Закалка — это термическая обработка стали путем нагревания ее до температуры на $20-30^{\circ}\text{C}$ выше критической линии GSK (по диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов), выдерживание при этой температуре до завершения фазовых превращений с последующим быстрым охлаждением в воде или масле. Стали закаливаются при содержании в них углерода не менее 0,35%. Для регулирования скорости охлаждения стали применяют различные жидкие растворы и масла. Вода, 10-процентный раствор NaOH и NaCl увеличивают скорость охлаждения стали, а раствор глины и мыла — замедляют.

В зависимости от скорости охлаждения при закалке образуются различные структуры: мартенсит, тростит и сорбит закалки. Мартенсит образуется при больших скоростях охлаждения и представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в αFe с большой твердостью и высоким пределом прочности при разрыве. Вместе с тем мартенсит чрезвычайно хрупок. Тростит получается при более медленном охлаждении стали при закалке. Тростит представляет собой высокодисперсную смесь феррита и цементита, менее твердую и хрупкую структуру, чем мартенсит.

Сорбит образуется при еще более медленном охлаждении с более грубой, чем в тростите, дисперсией цементита в массе феррита. Сорбит характеризуется повышенными механическими свойствами по сравнению с отожженной сталью и лишен вредных напряжений и хрупкости. При закалке увеличиваются твердость и прочность, но резко снижаются ударная вязкость и относительное удлинение. Закаленная сталь находится в напряженном состоянии и обладает большой хрупкостью. Для уменьшения хрупкости и ослабления внутренних напряжений сталь после закалки обязательно подвергают отпуску.

Отпуск применяется с целью ослабления или устранения внутренних напряжений в закаленной стали, уменьшения твердости и повышения вязкости до требуемых пределов путем вторичного нагрева закаленной стали до $150-550^{\circ}\text{C}$ с выдерживанием при этой

температуре и последующим медленным или быстрым охлаждением.

При нагреве происходит переход неустойчивой структуры при закалке в более устойчивую. При низкотемпературном отпуске снимаются внутренние напряжения, образуется структура мартенсита отпуска, обладающая высокой твердостью и износостойкостью.

При температуре отпуска ниже 400°C мартенсит превращается в ферритно-цементную смесь и переходит в перлит (перлит отпуска). При температуре отпуска более 500°C (до 650°C) мартенсит переходит в сорбит отпуска, содержащий более крупные зерна цементита, чем перлит отпуска. С повышением температуры отпуска в результате структурных изменений сильно меняются механические свойства закаленной стали: твердость и предел прочности понижаются, а относительное удлинение и вязкость возрастают.

Нормализация стали применяется для: устранения крупнозернистой структуры, полученной в результате предшествующей обработки (прокатки,ковки,штамповки): некоторого повышения прочности среднеуглеродистой стали по сравнению с отожженной; облегчения обрабатываемости резанием низкоуглеродистой стали; исправления структуры сварного соединения и уменьшения внутренних напряжений. Нормализация стали заключается в ее нагреве до температуры выше критической с последующим охлаждением на воздухе.

В зависимости от содержания углерода в стали при нормализации ее нагревают несколько выше (на $50-60^{\circ}\text{C}$) линии GSE. При такой обработке получается однородная мелкозернистая структура, содержащая пластинчатый перлит или сорбит. При тонких деталях из среднеуглеродистой стали нормализация способствует получению сорбитовой структуры и, если не требуется высокая вязкость, может заменить процесс закалки с последующим высоким отпуском. Нормализация широко применяется для улучшения свойств стальных отливок.

Химико-термическую обработку производят для улучшения поверхностного слоя деталей, придания им повышенной твердости, износостойкости, жаро- или коррозионной стойкости. Для этого предварительно нагретые детали подвергают воздействию среды, из которой путем диффузии (проникновения) в поверхностный слой переходят некоторые элементы (углерод, азот, алюминий, хром, кремний и др.). Поглощаются лучше всего вещества в атомарном состоянии, при этом атомы среды, проникая в решетку кристаллов стали, образуют твердый раствор или химические соединения. Наибольшее применение получили следующие виды обработки.

Цементация — процесс поверхностного насыщения стали атомарным углеродом до концентрации 0,75—1,2%.

В зависимости от источника получения углерода различают три вида цементации: 1) твердыми углеродосодержащими смесями — карбюризаторами, к которым относятся древесный уголь и углекислые соли (BaCO_3 , Na_2CO_3 и др.); 2) газовую — с помощью метана или других карбюризаторов; 3) жидкую — расплавленными солями.

При цементации стальное изделие выдерживают в углеродосодержащих средах 5—20 ч при 900—980°С. В результате такой обработки наружная поверхность изделия обогащается углеродом на глубину 0,5—2,0 мм. После цементации изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. Цементация стали применяется для увеличения поверхностной прочности и износостойкости, внутри изделия сталь остается неизменной. Цементации подвергают углеродистые стали (с содержанием углерода от 0,1 до 0,3%) и легированные (хромистые, хромоникелевые и др.).

Азотирование — процесс насыщения поверхностного слоя азотом, при этом образуются нитриды, обладающие высокой твердостью. При азотировании изделия из легированной стали (Al, Ti, V, W, Mo, Cr), предварительно прошедшие термическую обработку, нагревают до 500—600°С в среде аммиака, который диссоциирует по реакции $\text{NH}_3 \rightarrow \text{N} + 3\text{H}$, выделяющийся атомарный азот диффундирует сталь и образует с легирующими элементами и железом нитриды. Азотирование повышает твердость, предел усталости, сопротивление коррозии.

Цианирование — насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом. Цианирование повышает твердость и износостойкость стального изделия с поверхности. При цианировании стальное изделие выдерживают при 550—850°С в жидкой и газовой средах, содержащих углеродистые и цианистые соединения или аммиак и метан (при газовом цианировании). Продолжительность жидкого цианирования до 1 ч. Недостатком его является ядовитость и высокая стоимость.

Алитирование — процесс поверхностного обогащения стального изделия алюминием, который служит для повышения жаростойкости изделия и основан на диффузии атомарного алюминия в железо с образованием твердого раствора алюминия в железе. Алитированное изделие не окисляется и хорошо служит при температуре до 850—900°С.

Термическая обработка чугуна. Термической обработке чугуны подвергаются для устранения внутренних напряжений, уменьшения твердости отливок, улучшения структуры и механических свойств металла путем отжига, закалки и отпуска.

Отжиг производится при температуре 550°С для снятия внутренних напряжений, при температуре 850—900°С — для понижения твердости отливок, при температуре 930—1100°С — для получения ковкого чугуна. Ковкий чугун получают отжигом отливок из белого чугуна. При отжиге изменяется внутреннее строение чугуна за счет частичного выгорания углерода или за счет разложения цементита. Белые чугуны, правильно обработанные томлением (отжигом), приобретают большую пластичность и значительно легче обрабатываются. Закалку чугуна производят для повышения твердости отливок путем охлаждения их в воде или масле после нагрева до 760—850°С. Закалка с последующим отпуском снимает внутренние напряжения и придает изделиям мелкозернистое строение и структуру тростита-сорбита и сорбита-перлита.

Технологическую схему получения чугуна, стали и изготовления из них металлических изделий и конструкций, применяемых в строительстве, можно представить в следующем виде (рис. 214).

Чугун

Чугун получают из железных руд при высоких температурах в результате восстановительных процессов (химический процесс, при котором от окислов металлов отнимается кислород). Наиболее ценными рудами для получения чугуна считаются магнитный железняк Fe_3O_4 , красный железняк Fe_2O_3 , бурый железняк $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и шпатовый железняк FeCO_3 с содержанием незначительного количества вредных примесей (фосфора, серы и мышьяка).

Для повышения содержания железа и уменьшения примесей руда обогащается механическим измельчением, отбором пустой породы, не содержащей железа, предварительным обжигом или спеканием руды и кокса в агломерат. Для получения чугуна железные руды или агломерат перерабатывают в доменных печах (рис. 215). Исходными материалами для доменной плавки являются руда, флюсы (плавни) и топливо, которые загружаются в доменную печь сверху в количествах, определяемых расчетами. В доменной печи происходят следующие основные процессы:

а) горение углерода топлива в области фурм, через которые подается воздух, обогащенный кислородом $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \Delta Q$.

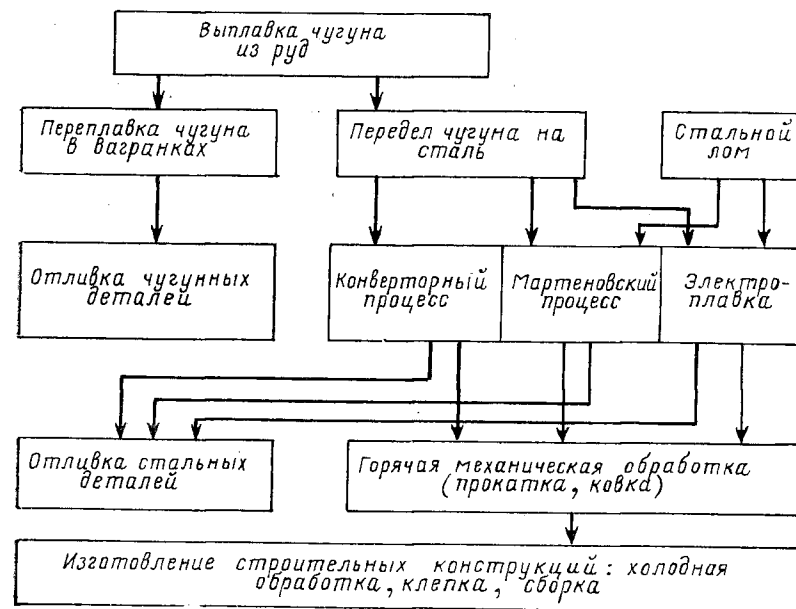


Рис. 214. Схема получения чугуна, стали и изделий из них

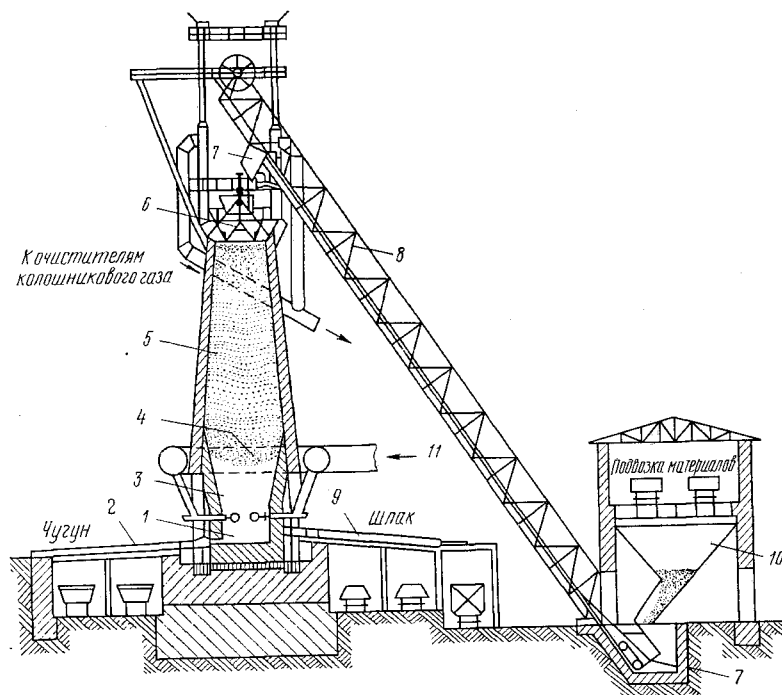


Рис. 215. Доменная печь:

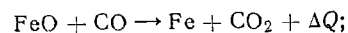
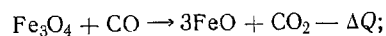
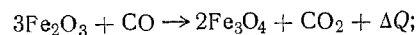
1 — горн; 2 — чугунная летка и желоб для спуска чугуна; 3 — заплечики; 4 — распар; 5 — шахта печи; 6 — колошник; 7 — колошниковая площадка (запасной аппарат); 8 — скиповый подъемник; 9 — шлаковая летка и желоб для шлака; 10 — бункера для руды, кокса, флюса; 11 — окислительное дутье

Здесь и в дальнейшем реакции с выделением тепла обозначаются $+\Delta Q$ и поглощением $-\Delta Q$;

б) восстановление углекислоты в окись углерода за счет происходящей реакции углекислоты с новыми слоями раскаленного кокса в области заплечиков $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} - \Delta Q$;

в) удаление из сырых материалов влаги и летучих веществ;

г) восстановление железа из его окислов окисью углерода, углеродом и водородом, получающимися в результате разложения воды и ряда углеводородов в зоне с температурой от 400 до 950°С. Восстановительный процесс окисью углерода может быть представлен следующими реакциями:



д) науглероживание в горне твердого железа окисью углерода и расплавленного железа раскаленным углеродом с образованием при этом цементита Fe_3C ;

е) плавление восстановленного и науглероженного металла и ошлакование пустой породы руды и флюсов, применяющиеся для удаления из металла вредных примесей. Образовавшийся чугун собирается в горне печи.

Большую часть (75—80%) доменного чугуна изготавливают для передела на сталь. Этот чугун называется *передельным* и является преимущественно белым чугуном, в котором весь углерод содержится в химически связанном состоянии в виде Fe_3C .

При медленном охлаждении и значительном содержании кремния (до 3—4%) может быть получен серый чугун. Меньшую часть (15—20%) чугуна изготавливают для литья в виде серого *литейного чугуна*.

Имеются некоторые разновидности руд, из которых можно выплавлять литейные легированные чугуны уже в процессе плавки за счет наличия в руде таких примесей, как хром, никель, ванадий, титан.

Помимо передельных и литейных чугунов, выплавляются специальные ферросплавы (2—3%), применяемые в качестве добавок в литейные чугуны и для присадок при плавке углеродистой и специальных сталей.

Свойства и марки чугуна. В зависимости от содержания примесей и скорости охлаждения получают два основных вида чугуна:

белый чугун имеет структуру: перлит+ледебурит+вторичный цементит. Весь углерод в связанном состоянии — в цементите. Белые чугуны имеют высокую твердость, хорошо сопротивляются износу, хрупки и плохо поддаются обработке режущими инструментами. Белый чугун используется для получения ковкого чугуна и в строительстве применяется мало;

серый чугун содержит до 4% углерода, который до 1,7% может находиться в связанном состоянии, а остальной свободный — в состоянии графита. Он образуется путем выделения из раствора, а также при распаде цементита $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ (графита). Таким образом, структура серых чугунов определяется металлической основой, формой и расположением графитных включений. Металлическая основа аналогична сталям (ферритная, феррито-перлитная и перлитно-цементитная). Графитные включения также различаются по форме, расположению, содержанию. В составе чугуна содержится кремний (0,75 до 3,75%), который способствует выделению графита и уменьшает содержание карбида железа, улучшает обрабатываемость. Марганец содержится до 1,3%, увеличивает устойчивость карбида железа, ведет к его упрочнению, как и кремний, улучшает жидкотекучесть. Сера (допустимое содержание до 0,07%) противодействует выделению графита, придает хрупкость, понижает жидкотекучесть. Фосфор повышает хрупкость, для повышения износостойкости допускается до 0,8%. Фосфор понижает температуру плавления и увеличивает жидкотекучесть, позволяет получать тонкие отливки с чистой и гладкой поверхностью. Для художественного литья труб содержание фосфора повышают до 1,2%.

Механические свойства чугуна обусловлены строением его основы, а также содержанием, формой и расположением графита. Лучшим по механическим свойствам является перлитный чугун, содержащий графит в виде мелких равномерно рассеянных чешуек или еще лучше округлых (глобулярных) включений.

Серый чугун маркируют буквами СЧ с последующими цифрами: первые две цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении, а вторые — предел прочности при изгибе. Чугуны невысокой прочности имеют предел прочности при растяжении 12—21 кгс/мм², а при изгибе — 28—40 кгс/мм² (например, СЧ12-28, СЧ15-32) и применяются для изготовления ответственных деталей.

Серый чугун в строительстве применяется для изготовления элементов конструкции, работающих на сжатие: колонны, опорные подушки, башмаки, а также канализационные трубы, тубинги и др.

Для повышения прочности чугуны легируют (никелем, хромом, молибденом, медью и др.), а также модифицируют (алюминием, кальцием, кремнием) и подвергают термической обработке отжигом, закалкой, отпуском.

Высокопрочные чугуны получают из обычного серого перлитного чугуна присадкой 0,3—1,2% магния или церия. Этим достигается изменение формы графита из пластинчатой в глобулярную, что ведет к увеличению сплошности металлической основы, а следовательно, и прочности. Высокопрочные чугуны обозначаются двумя буквами ВЧ и цифрами; первые две цифры указывают на предел прочности при растяжении в кг/мм², а следующие — относительное удлинение (например, ВЧ50-1,5, ВЧ45-5).

Ковкий чугун обозначается КЧ; получают его из белого чугуна термической обработкой (томлением). Структура ковкого чугуна состоит из стальной феррито-перлитной основы и графита хлопьевидной формы, расположенных изолированно друг от друга; в результате металлическая основа менее разобщена и чугун обладает некоторой вязкостью, пластичностью и поддается обработке.

Чугун в строительстве применяется меньше, чем сталь. Изготовление чугунных изделий в основном производится методом литья: трубы, кольца, пустотелые изделия, решетки ограждения, художественные и декоративные изделия.

Для получения тонкого чугунного листа в СССР разработан метод бесслитковой прокатки. Чугун прямо из вагранки формируется в ленту прокаткой между валками. Полученный лист отжигается и приобретает некоторую эластичность, его можно загибать, резать ножницами и др. Чугунные листы в строительстве применяют как кровельный материал.

Стали

Исходным материалом для производства стали являются переплавные чугуны, содержащие около 4% углерода, а также кремний, марганец, фосфор, серу. Так как сталь содержит все эти примеси в значительно меньшем количестве, то передел чугуна на сталь за-

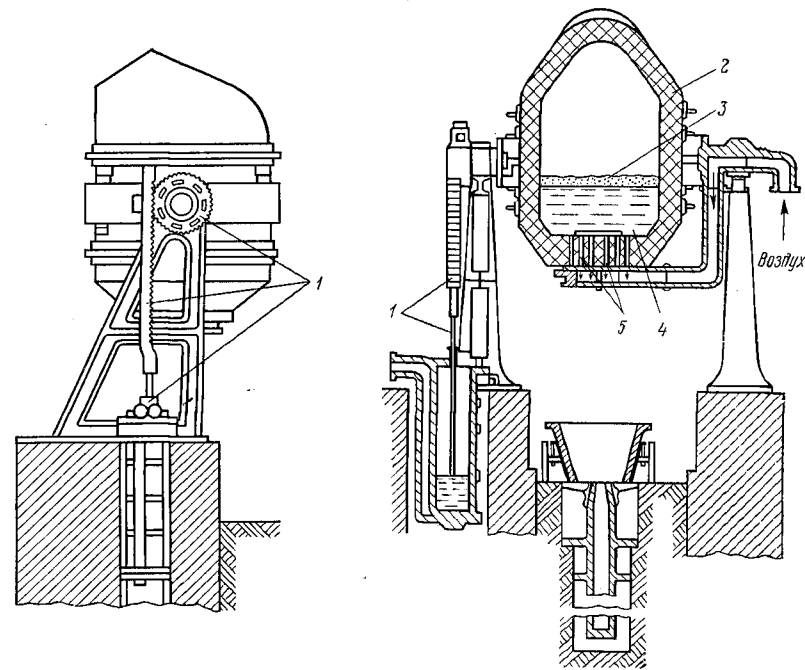


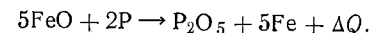
Рис. 216. Конвертор:
1 — механизм для поворота конвертора; 2 — огнеупорная кладка; 3 — шлак; 4 — металл; 5 — каналы для подачи воздуха

ключается в удалении указанных примесей, что достигается в результате окислительного процесса при плавке переплавных чугунов.

По способу производства стали делятся на конвертерные, мартеновские, электростали.

Конвертерным способом сталь получают в специальных печах-конвертерах путем продувания воздуха через расплавленный чугун. В зависимости от состава переплавного чугуна применяют конвертеры с кислой футеровкой по методу Бессемера и основной футеровкой по методу Томаса (рис. 216). Чугун, перерабатываемый по бессемеровскому способу, должен содержать повышенное количество кремния (0,2—2,0%), выгорание которого дает тепло, нужное для переплава, и минимальное количество серы и фосфора (0,6—0,7%), потому что образующиеся кислые шлаки не способны их связывать и они полностью переходят в сталь.

Томассовский способ применяется для переработки чугунов с повышенным содержанием фосфора 1,6—2,0% и малым содержанием кремния до 0,5%. Для удержания фосфора в конвертер перед заливкой чугуна помещают негашеную известь (10—12% от массы чугуна). При этом протекает следующая реакция:



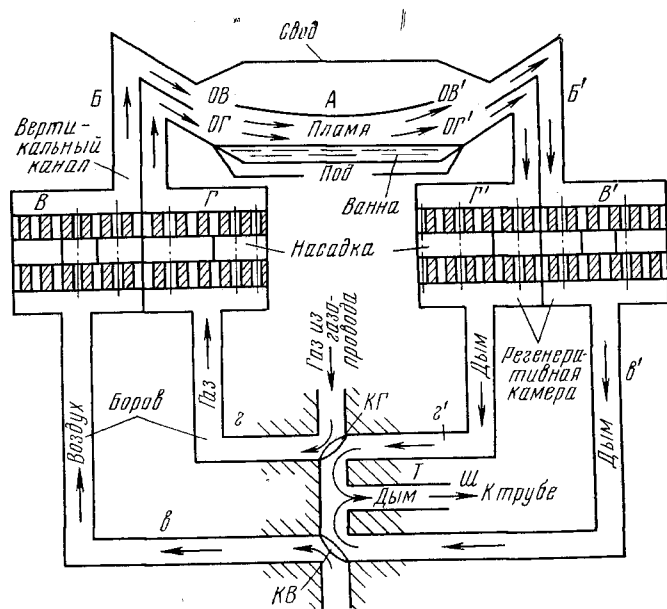


Рис. 217. Схема тепловой работы мартеновской печи с подогревом газа и воздуха:

А — рабочая камера; В, В' — вертикальные каналы, соединяющие регенераторы; В, В' — воздушные регенераторы; Р, Р' — газовые регенераторы; ОВ и ОВ' — воздушные окна; ОГ и ОГ' — газовые окна; КГ — газовый клапан; КВ — воздушный клапан; в и в' — воздушные боровы; г и г' — газовые боровы; Т — дымовой боров; Ш — дымовой шибер

Выделяется тепло, нужное для переплава, а образующаяся окись фосфора P_2O_5 связывается окисью кальция CaO с образованием $(CaO)_n \cdot P_2O_5$, применяемом как удобрение в сельском хозяйстве. После окончания процесса выгорания примесей металл раскисляют ферромарганцем и ферросилицием, которые освобождают жидкий металл от кислорода.

Конвертерная сталь обычно относится к сталям обыкновенного качества, используется для изготовления строительных профилей, заготовок для проката сварных труб, сортовой стали, листового железа, проволоки и т. д. Применение кислородного и воздушно-кислородного дутья дает возможность получать конвертерным способом углеродистую и легированную сталь, по качеству равноценную мартеновской. Конвертерный способ производства стали является наиболее экономичным, дает возможность производить непрерывный розлив стали с максимальной механизацией производственных процессов.

Мартеновский способ позволяет получать стали высокого качества и перерабатывать различные чугуны с добавкой скрапа — металлического лома и железной руды. Выплавку стали ведут на подду пламенной отражательной печи (рис. 217) рабочее пространство которой ограничено сводом, отражающим тепловой поток.

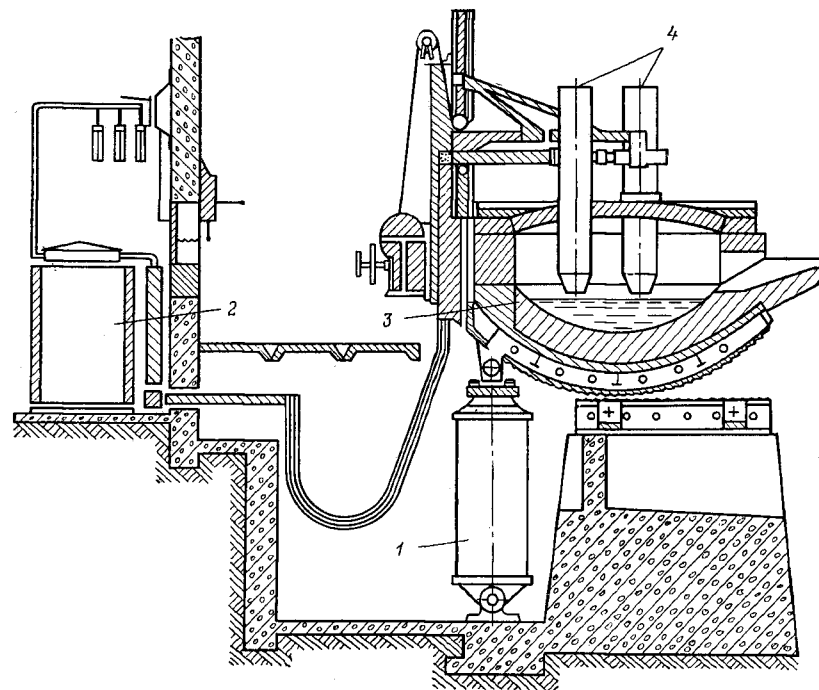


Рис. 218. Схема дуговой электропечи:

1 — поворотный механизм; 2 — трансформаторная установка; 3 — ванна; 4 — электроды

В зависимости от состава передельного чугуна, так же как и конвертер, ванна мартеновской печи может быть основной или кислой. В качестве топлива применяется смесь колошникового, природного или генераторного газов и воздуха, которая перед поступлением в печь подогревается в регенераторах, использующих тепло отходящих газов. Благодаря этому температура в печи достигает $1700-1800^\circ C$. При применении мазута в регенераторах подогревается только воздух, а топливо подается через форсунки.

В мартеновской печи можно получать не только углеродистые стали, содержащие углерод, кремний, марганец, серу, фосфор в нормальных количествах, но и легированные, т. е. такие стали, которые содержат еще хром, никель, молибден, вольфрам и другие примеси в количествах, достаточных для улучшения свойств стали.

В настоящее время до 80% всей стали выплавляется основным мартеновским процессом. Мартеновские печи строят производительностью до 900 т и выше с выпуском в два ковша. Производительность мартеновских печей определяется количеством металла в тоннах, снимаемого в сутки с 1 м^2 пода печи, и составляет в среднем около 20 т.

Получение стали в электрических печах является одним из наиболее совершенных способов ее производства, который позволяет

ограничивать доступ воздуха в печь, получать высокую температуру и регулировать процесс. Этим способом получают высококачественные стали для самых ответственных изделий. Электроплавильные печи по принципу действия разделяются на дуговые и индукционные.

В дуговых печах (рис. 218), получивших наибольшее распространение, высокая температура создается в результате образования вольтовых дуг между угольными электродами и расплавленным металлом. К электродам подводят переменный ток 110—240 В при силе 10 тыс. А. Емкость электрических печей от 5 до 300 т. В электрических печах вырабатываются высокоуглеродистые стали и разнообразные сорта легированных и специальных сталей — нержавеющие, кислото- и жароупорные, инструментальные, которые получают за счет введения во время плавки различных присадок.

В электрической печи перерабатывают твердую шихту и жидкие стали, поступающие из мартеновской печи или конвертора. Применение жидкой стали значительно удешевляет процесс электроплавки. Электрические печи также имеют кислую или основную футеровку ванны. Наибольшее распространение получили печи с основной футеровкой, обеспечивающие наилучшее удаление вредных примесей при помощи основных флюсов. Производство стали в электропечах в СССР развивается быстрыми темпами.

§ 117. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛИ

В зависимости от условий применения и назначения металлов для их характеристики определяют следующие свойства: физические — плотность, плавкость, электропроводность, теплопроводность и др.; химические — окисляемость, растворимость, коррозионная стойкость; механические — прочность, твердость, упругость, вязкость, пластичность, хрупкость; технологические — ковкость, свариваемость, обрабатываемость.

Для определения этих свойств применяют различные современные методы испытаний: химические, спектральные, металлографические, рентгеноструктурный, термографический, механические испытания, дефектоскопию, технологические пробы и др. Эти испытания позволяют определить состав, структуру, свойства металлов, а также определить степень пригодности и качество. В зависимости от назначения и свойств требования к сталям, регламентируются соответствующими ГОСТами.

Наиболее распространенным является испытание на растяжение. Образцы $d=20$ мм и длиной $l=100—200$ мм испытывают в специальных разрывных машинах, записывающих диаграмму растяжения (рис. 219), по которой определяют предел пропорциональности, предел упругости, временное сопротивление разрыву (предел прочности). По диаграмме растяжения можно характеризовать пластические свойства металла по относительному удлинению.

Испытание твердости определяется сопротивлением вдавлению шарика (метод Бринеля), конуса (Роквелла) или пирамиды

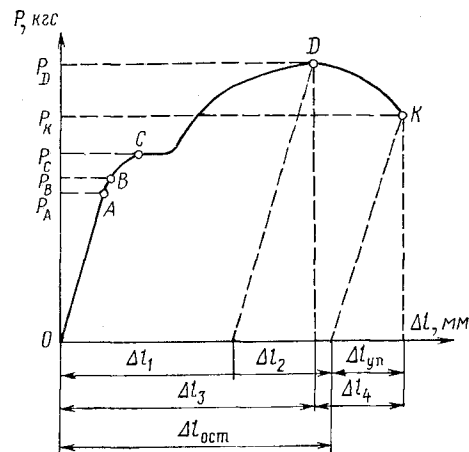


Рис. 219. Диаграмма растяжения мягкой стали

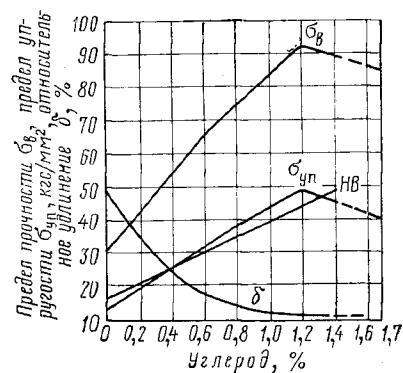


Рис. 220. Изменение механических свойств горячекатаной стали в зависимости от содержания углерода

(Виккерса) под действием постоянной нагрузки. Испытание на ударный изгиб производится на маятниковых копрах: определяют работу, затраченную на разрушение образца, и относят ее к его поперечному сечению. Материалы, легко разрушающиеся, относят к хрупким, а хорошо сопротивляющиеся удару, — к вязким. Испытание на усталость (выносливость) производится на специальных машинах, обеспечивающих знакопеременные напряжения: изгиб, поперечное сжатие и растяжение, кручение и ударную нагрузку.

Технологические пробы определяют возможность выполнять различные технологические операции (испытание на вдавливание, перегиб, осадку, свариваемость и др.).

Классификация сталей. В зависимости от способа производства, химического состава, структуры, назначения и качества стали классифицируются:

по способу получения: мартеновский, конверторный (бессемеровский и томассовский) и электропечной. Одновременно сталь, полученную различными способами, принято разделять по степени раскисления металла на спокойную, полуспокойную и кипящую;

по химическому составу: а) углеродистые, в состав которых входит углерод до 1,5%, и обычное количество постоянных примесей: кремния, марганца, фосфора и серы; б) легированные, в состав которых для улучшения их свойств специально вводится один или несколько легирующих элементов (никель, хром, марганец, ванадий, вольфрам и др.);

по структуре на следующие основные классы: перлитный, аустенитный, ферритный, мартенситный, карбидный (ледебуритный);

по назначению стали могут быть конструкционные (машиностроительные и строительные), инструментальные (режущего, изме-

рительного и другого инструмента) и сталь с особыми физико-химическими свойствами (нержавеющие, жаро- и кислотостойкие, с особо магнитными и электрическими свойствами и др.);

по качеству углеродистые стали разделяются на обыкновенного качества и качественную, легированные — на качественную и высококачественную (при маркировке обозначается в конце буквой А).

Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим углерод и ряд примесей (кремний, марганец, серу, фосфор и др.), которые влияют на ее свойства.

Углерода в стали содержится до 1,4%; с его увеличением твердость НВ, прочность при растяжении $\sigma_{\text{раст}}$, предел упругости $\sigma_{\text{уп}}$ повышаются (рис. 220), одновременно относительное удлинение δ уменьшается. Эти изменения связаны с количественным изменением основных структурных составляющих — феррита и цементита.

Кремний и марганец содержатся в количествах Si до 0,5% и Mn до 0,7%, в этих пределах они не оказывают существенного влияния на свойства. С дальнейшим повышением их содержания повышается твердость и прочность стали и она относится к легированным.

Сера является вредной примесью: растворяясь в железе, она образует серное железо FeS, которое, располагаясь между зернами, снижает их связь и делает сталь красноломкой. Кроме того, сера понижает пластичность, прочность и коррозионную устойчивость.

Фосфор придает хрупкость при обычной температуре (хладоломкость). Вредное влияние его особенно сильно при повышении содержания углерода. Однако для некоторых сталей (автоматных) при содержании углерода до 0,3% допускается повышенное содержание фосфора (до 0,15%) и серы (до 0,2%) для облегчения обработки резанием.

Конструкционные стали применяются для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений. Они могут быть углеродистые и легированные. Конструкционные стали должны обладать высокой прочностью, пластичностью и вязкостью в сочетании с хорошими технологическими свойствами.

Углеродистые конструкционные стали выпускаются двух классов: обыкновенного качества (ГОСТ 380—71) и качественные (ГОСТ 1050—60). В зависимости от условий раскисления в процессе плавки эти стали делятся на три группы:

спокойные (сп), получаемые полным раскислением металла Si, Mn, Al. Эти стали содержат минимальное количество закиси железа, что обеспечивает спокойное застывание металла. Слиток получается плотным и однородным по составу;

кипящие (кп) раскисляются только марганцем, содержат повышенное количество FeO, при реакции его с углеродом металла образуется CO, который, выделяясь, создает впечатление кипения. Кипящие стали имеют неоднородный химический состав, хуже свариваются, более дешевы;

полуспокойные (пс) раскисляются марганцем, алюминием и являются промежуточными между спокойными и кипящими.

Стали обыкновенного качества содержат углерода до 0,6%, они меньше очищаются от вредных примесей (содержат серы до 0,06% и фосфора до 0,06%). В зависимости от назначения и гарантируемых свойств стали обыкновенного качества делятся на группы А, Б и В.

Стали группы А поставляются по механическим свойствам и обозначаются буквами Ст (сталь) и цифрами 1, 2, 3, ..., 7 (табл. 129).

Таблица 129

Марка стали	$\sigma_{\text{в}},$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{т}},$ кгс/мм ² , не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Марка стали	$\sigma_{\text{в}},$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{т}},$ кгс/мм ² , не менее	Относительное удлинение, %, не менее
Ст 0	32	—	22	Ст4Ст4кп	42—52	26	25—23
Ст 1 Ст 1кп	32—40	—	33	Ст 5	50—62	28	21—19
Ст 2 Ст 2кп	32—40	22	31	Ст 6	60—72	31	16—14
Ст 3 Ст 3кп	38—47	24	27—25	Ст 7	70—75	—	11—19

Стали группы А используют в состоянии поставки без последующей горячей обработки, давлением или термической обработки, так как химический состав, определяющий режимы обработки, может сильно колебаться.

Стали группы Б поставляются по химическому составу. Они обозначаются буквами М — мартемовская, Б — бессемеровская и К — конверторная, а далее буквы Ст — сталь и цифры, указывающие содержание углерода.

Стали группы В поставляются по механическим свойствам и химическому составу. В обозначение марки этой группы входит буква В (ВМСт1, ВМСт2 и т. д.). Состав стали соответствует аналогичной марке МСт1, Ст2 и т. д., а механические свойства — той же марки, приведенной в табл. 138.

Стали групп Б и В можно подвергать горячей деформации и термической обработке. Стали группы В могут иметь специализированное назначение (мосто- и судостроение). Для мостостроения (ГОСТ 6713—53) применяют марки М 16 С — (0,12—0,2 С) для сварных и Ст3 (0,14—0,22 С) — для клепаных конструкций.

Для армирования железобетонных конструкций со сварными каркасами и с предварительно напряженной арматурой применяют горячекатаную сталь круглого и периодического профиля. В зависимости от механических свойств ее разделяют на четыре класса: А-I, А-II, А-III, А-IV. Стержни арматурной стали класса А-I выпускают круглыми и гладкими, а стержни классов А-II, А-III и А-IV — периодического профиля. Для отличия марки стали каждому классу соответствует внешний вид периодического профиля: стержни класса А-II должны иметь выступы, идущие по винтовым линиям, стержни классов А-III и А-IV имеют выступы в виде елочки, кроме того, кон-

цы стержней класса А-IV окрашивают в красный цвет на участке 30—40 см.

В строительстве применяются малоуглеродистые обыкновенного качества и низколегированные стали.

Сталь углеродистая качественная конструкционная выпускается по ГОСТ 1050—60. По однородности, содержанию серы, фосфора, углерода, а также неметаллическим включениям эта сталь имеет более жесткие требования, чем сталь обыкновенного качества. Двухзначные цифры в марке стали указывают на среднее содержание углерода в сотых долях процента. В зависимости от содержания марганца сталь подразделяется на две группы: с нормальным и повышенным его содержанием; применяется для ответственных деталей и сооружений.

Инструментальная сталь выплавляется в мартеновских и электрических печах. Она делится на: а) качественную — обозначается буквой У и цифрой, указывающей содержание углерода в десятых долях процента, например, У7, У8, ..., У13; б) высококачественную, содержащую меньше примесей серы, фосфора — обозначается добавлением буквы А, например У8А. Инструментальная сталь применяется для изготовления режущих, ударных, измерительных инструментов.

Легированные стали

Существенный недостаток углеродистой стали — это уменьшение пластичности и вязкости с увеличением содержания углерода. Для улучшения свойств углеродистых сталей в них вводят специальные легирующие элементы (добавки). В зависимости от содержания легирующих элементов стали разделяются на низколегированные (с содержанием их до 2,5%), среднелегированные (от 2,5 до 10%) и высоколегированные (более 10%). Вводимые в сталь легирующие элементы изменяют ее механические, физические и химические свойства. Легирующие элементы по-разному взаимодействуют с железом и углеродом. Они могут образовывать с γ - и α -железом растворы различной концентрации, т. е. входить в состав аустенита и феррита, упрочняя их. Они по-разному могут влиять на температурный интервал устойчивости аустенита. Так, легирующие элементы (группы никеля): марганец, медь, кобальт расширяют температурный интервал устойчивости аустенита и он может сохраняться при комнатных температурах (такие стали называют аустенитными). Легирующие элементы (группы хрома): алюминий, молибден, вольфрам, ванадий, титан, кремний, бор, цирконий и другие сужают область устойчивости γ -железа (аустенита). Эти стали называют ферритными, они не закаляются.

По отношению к углероду элементы разделяются на: образующие с углеродом устойчивые химические соединения — карбиды (хром, марганец, молибден, вольфрам, ванадий, титан). Образующиеся карбиды твердые, прочные; не образующие в стали карбидов и входящие в твердый раствор — феррит (никель, кремний, кобальт, алюминий, медь).

Большинство марок легированных сталей приобретают высокие физико-механические свойства только после термической обработки. Таким образом, по структуре при охлаждении на воздухе легированные стали подразделяются на пять классов: перлитный, мартенситный, аустенитный, карбидный и ферритный.

По назначению легированную сталь делят на конструкционную, инструментальную и сталь с особыми физико-химическими свойствами. Конструкционную сталь применяют для изготовления деталей машин, в строительстве — для ответственных конструкций. Инструментальную сталь используют для изготовления режущего и измерительного инструмента. К сталям с особыми свойствами относят нержавеющие, жаростойкие, с особыми магнитными и электрическими свойствами.

Маркировка легированной стали по ГОСТу предусматривает для обозначения легирующих элементов следующие обозначения: Х — хром, Н — никель, Г — марганец, С — кремний, В — вольфрам, М — молибден, Ф — ванадий, К — кобальт, Т — титан, Ю — алюминий, Д — медь, Б — ниобий, Р — бор. Для обозначения состава легированной стали принята следующая маркировка: — две первые цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а цифры, следующие за буквами, — процентное содержание легирующих элементов в стали, если цифры отсутствуют, то легирующего элемента содержится примерно до 1,5%. Например, сталь, содержащая углерода 0,20—0,29%, марганца — 1,2—1,6%, кремния 0,6—0,9%, обозначается маркой 25Г2С.

Для инструментальных легированных сталей первые цифры указывают содержание углерода не в сотых, а в десятых долях процента, если цифра отсутствует, содержание углерода менее 1%. Легированные стали могут содержать один или несколько легирующих элементов. Тройные конструкционные стали имеют одну легирующую добавку. К таким сталям относятся хромистая, никелевая, марганцевая, кремнистая молибденовая и др.

Хромистые стали имеют широкое распространение. Хром повышает прочность и износостойкость, несколько снижает пластичность. Хромистые стали широко применяются в машиностроении.

Никелевые стали обладают хорошим сочетанием свойств. Никель увеличивает прочность, твердость и вязкость стали и мало снижает пластичность, повышает прокаливаемость и коррозионную стойкость.

Марганцовистые стали содержат марганца более 1%, он дешевый и недефицитный. Марганец повышает твердость и прочность, свариваемость, прокаливаемость, но понижает пластичность. В строительстве применяют следующие марганцевые стали 14Г, 19Г, 24Г, 14Г2.

Кремнистые стали содержат кремния более 0,8%. Он повышает прочность, упругость и твердость, снижает вязкость. Низкоуглеродистую кремнистую сталь применяют для сооружения мостов.

Медистые стали содержат меди 0,2—0,5% и более, на механические свойства существенного влияния не оказывают, повышают кор-

розионную устойчивость. Медь применяется с другими легирующими элементами: хромом, никелем, кремнием, марганцем. Стали, легированные медью, применяют для изготовления строительных конструкций.

Сложнолегированные конструкционные стали получают при одновременном легировании несколькими элементами. В строительстве применяют низколегированные стали (табл. 139).

Кремниймарганцовистая сталь содержит кремния от 0,6 до 1%, марганца от 0,6 до 1,6%. Кремний повышает твердость стали, сопротивление разрыву, пределы текучести и упругости и понижает пластичное и ударное сопротивление при низких температурах. При увеличении содержания кремния до 1% температура перехода стали в хрупкое состояние повышается с 80 до 50°С, а при меньшем содержании остается постоянной. Кремниймарганцовистую сталь марок 15 ГС, 18 Г2С, 25Г2С применяют в строительных конструкциях мостостроения, для армирования железобетонных конструкций.

§ 118. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

В промышленности и строительстве широко применяют цветные металлы, которые обладают в зависимости от вида металла рядом особых свойств: пластичностью, высокой электро- и теплопроводностью, антикоррозионной стойкостью (табл. 130).

Таблица 130

Свойства металлов	Тяжелые					Легкие	
	Медь	Никель	Свинец	Олово	Цинк	Алюминий	Магний
Плотность, г/см ³	8,93	8,90	11,37	7,29	7,10	2,70	1,74
Температура плавления, °С	1084	1455	327	231	419	660	651
Твердость по Бринеллю, кгс/мм ²	36,8	95	3	5	35	15—30	30—40
Прочность, кгс/мм ²	22	39	1,6	2,8	12,8	9—12	8—17
Теплопроводность, кал/см·с·град	0,94	0,14	0,08	0,15	0,27	0,82	0,35

К редким металлам относят вольфрам, молибден, ванадий, ниобий, цирконий, все они имеют температуру плавления выше 1700°С и применяются в качестве специальных добавок при производстве стали. К редким радиоактивным металлам относятся: уран, торий, актиний, протактиний: в связи с развитием атомной энергии применение их резко возросло. В строительстве из цветных металлов наиболее широко применяют сплавы алюминия и меди.

Алюминий и его сплавы. В последние годы в Советском Союзе в связи с открытием нового способа выплавки алюминия непосредственно из руды значительно снизилась стоимость производства алюминиевых сплавов и изделий из него. Чистый алюминий очень

пластичен (относительное удлинение ~40%), относительно низкая прочность ограничивает его применение. Поэтому в качестве конструкционных материалов широкое применение получили сплавы алюминия с легирующими добавками (Si, Mg, Cu, Zn, Mn, Ni, Ti, Zr).

Сырьем для получения алюминия являются руды, содержащие глинозем Al₂O₃. Такими рудами являются бокситы, содержащие Al₂O₃ 30—50%, они залегают в Ленинградской обл., на Урале, в Сибири, Московской обл., а также нефелины, алуниты с содержанием Al₂O₃ 20—30%.

Алюминиевые сплавы. В чистом виде алюминий мягок, пластичен, хорошо отливается, но обладает малой прочностью, и поэтому он применяется только в электротехнической промышленности. В строительстве применяются сплавы алюминия с медью, марганцем, магнием, кремнием. Введение в алюминий этих элементов позволило получить сплавы с повышенной прочностью, пластичностью и коррозионной стойкостью. Эти сплавы легко поддаются термической обработке.

Практическое применение получили сплавы пяти систем: Al—Mn алюминиево-марганцевая, Al—Mg алюминиево-магниева (магналий), Al—Si алюминиево-кремниевая (силумины), Al—Cu—Mg алюминиево-медно-магниева (дюралюминий), Al—Mg—Si алюминиево-магнокремниевая (авиалины) и Al—Zn—Mg алюминиево-цинко-магниева.

В зависимости от систем сплава, процентного содержания легирующих элементов и термической обработки алюминиевые сплавы делятся на две группы: деформируемые сплавы, из которых путем прокатки, прессования, волочения,ковки и штамповки получают различные изделия; литейные сплавы, которые идут на изготовление отливок.

Маркировка сплавов производится буквами и цифрами. Буквами обозначают систему сплавов, метод обработки, а цифрами — процентное содержание легирующих элементов или номер сплава. Если сплав получил термическую обработку, к марке сплава через тире добавляется одна из букв: М — мягкое, отожженное, Т — закаленное.

Деформированные сплавы — дюралюминий (Д1, Д16, Д21 и др.) содержат от 3,8 до 7% Cu, от 0,4 до 1% Mn и Mg. Основными упрочняющими составляющими являются химическое соединение CuAl₂ и CuMgAl₂. Дюралюминий обладают достаточно высокими механическими свойствами.

Литейные сплавы силумины — сплавы Al—Si с добавкой CuMg обладают хорошими литейными свойствами. Алюминиевые сплавы обладают высокой прочностью, свариваются, сохраняют прочность до 250—300°С.

Применение алюминиевых сплавов в строительстве производится с целью уменьшения массы конструкции, удобства монтажа, повышения коррозионной стойкости и уменьшения эксплуатационных расходов.

Алюминиевые сплавы рекомендуются для:

а) несущих конструкций зданий и сооружений (оболочка, рамы фермы и т. д.), конструкций для химических предприятий с агрессивной средой (кроме воздействия влажностно-щелочной среды, растворов серной кислоты и ее солей), опор линий электропередач;

б) ограждающих конструкций, кровельных панелей, подвесных потолков, витрин, переплетов и т. д.

Элементы конструкций из алюминиевых сплавов можно соединять на заклепках, на болтах или сваркой. Сварные соединения выполняются механизированной или ручной электродуговой сваркой в защитной среде аргона, электрической контактной сваркой, сваркой под слоем флюса и газовой сваркой.

Медь и ее сплавы. Сырьем для получения меди служат сульфидная и окисленная медные руды. Наиболее распространенной сульфидной медной рудой является медный колчедан Cu_2SFeS_3 .

Чистая медь — металл розовато-красного цвета, имеющий следующие физические свойства: плотность — $8,93 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1083°C . Временное сопротивление при растяжении 20 кгс/мм^2 , относительное удлинение меди 30—60%. Наклепанный материал дает более высокую крепость на разрыв (до $40\text{—}50 \text{ кгс/мм}^2$) и большее удлинение (до 2%) с возрастанием твердости по Бринеллю от НВ 45 до НВ 90. Медь является ковким и пластичным металлом. В промышленности и строительстве применяют сплавы меди с цинком, словом, алюминием, марганцем, никелем и др.

Латунь — сплав меди и цинка. Она широко распространена в технике, так как имеет хорошие механические свойства и невысокую стоимость. Сплавы меди, содержащие от 20 до 46% цинка, называются латунями, а при содержании цинка до 20% томпаком. При добавке к латуни свинца получается латунь свинцовистая, а при сплавлении с оловом — морская латунь. Свинец, добавляемый в латунь, улучшает обрабатываемость резанием, а олово повышает сопротивление против разрушения морской водой.

Цинк в составе латуни повышает ее пластичность и временное сопротивление при растяжении. Наиболее высоким сопротивлением растяжению латунь обладает при содержании цинка до 45%, при содержании же цинка до 30% латунь достигает наибольшей пластичности.

Латунь хорошо обрабатывается прессованием, прокаткой, штамповкой, волочением. Из латуни изготавливают ленту, лист, проволоку и другие изделия.

Бронза — сплав меди с оловом, алюминием, марганцем или никелем. Свойства бронзы зависят от применяемых для сплавов металлов (оловянные, алюминиевые, фосфористые, марганцовистые). Бронза является хорошим антифрикционным материалом, обладает более высоким временным сопротивлением по сравнению с латунью, высокой твердостью и хорошим сопротивлением против химических воздействий.

Алюминиевая бронза содержит 90—94,36% меди и 5,64 алюминия и имеет следующие показатели механической прочности: сопро-

тивление при разрыве от 35 до 90 кг/мм^2 , относительное удлинение от 2 до 80%. Алюминиевые бронзы применяются вместо морской латуни в местах, подверженных большим давлением или действию кислот.

Кроме бронзы и латуни, медь дает ряд других сплавов, из которых наиболее известны мельхиор (80% меди и 20% никеля), никелин (66% меди и 34% никеля), константан (40% никеля и 60% меди).

В строительстве медь и ее сплавы (бронза и латунь) применяются для отделочных работ в сооружениях 1-го класса.

Титан. Механические свойства титана близки к железу, прочность $25\text{—}40 \text{ кгс/см}^2$, относительное удлинение 20—40%, твердость НВ=90, но он намного легче ($\gamma=4,5$) железа и обладает значительной коррозионной устойчивостью. Сырьем для получения титана служат рутиловые и ильменитовые руды, их обогащают до содержания TiO_2 40—42%.

Титан применяют в сплавах, в которые входит Al, Cr, C. Прочность сплавов до 100 кгс/мм^2 при относительном удлинении 10%. Сплавы титана могут подвергаться термической обработке.

Цинк, свинец, олово. Цинк получается в результате переработки руд цинковой обманки ZnS или цинкового шпата ZnCO_3 . Цинк плавится при 419°C , плотность от 6,9 до 7,3 в зависимости от обработки (прокатки иковки). Цинк — хрупкий металл, но при нагреве до $90\text{—}170^\circ\text{C}$ становится пластичным и ковким. Перегрев цинка приводит к повышению хрупкости, в результате которой металл может превратиться в порошок.

Цинк является хорошим материалом для литья, но имеет большую усадку (1,64%). В сухом месте цинк остается блестящим, голубовато-белым в изломе, а в сыром — покрывается матовым слоем окиси $\text{Zn}(\text{OH})_2$, предохраняющим металл от коррозии.

Цинк хорошо предохраняет сталь от коррозии и применяется в большом количестве на оцинковку и получение сплавов (латуней и сплавов на основе Zn). Для оцинкования сталь обычно погружают в расплавленный цинк.

Свинец — мягкий металл с плотностью 11,94 и температурой плавления 327°C . Он быстро окисляется на воздухе, очень тягуч, но непрочен, хорошо прокатывается и плохо протягивается. Пары и соли свинца ядовиты. Образующиеся при окислении окислы представляют собой очень прочную защитную оболочку, которая предохраняет свинец от коррозии.

Свинец применяют в мостостроении и при изоляционных работах в виде листов для устройства различных прокладок, а также при изготовлении свинцово-оловянных припоев для пайки и дешевых антифрикционных сплавов.

Олово получается из руд, главной из которых является оловянный камень (кассатерит). Олово — белый блестящий металл с плотностью 7,3 и температурой плавления 232°C , обладает большой пластичностью и может прокатываться до толщины 0,008 мм. Очень тонко раскатанные листы олова называются станиолом. При сгиба-

нии олово издает треск вследствие разделения кристаллов по плоскостям их спайности. Олово не подвергается окислению, благодаря чему оно широко применяется в производстве белой жести. Олово применяется при изготовлении антифрикционных сплавов — бронзы и баббита.

Припой — сплавы, применяемые для соединения, паяния металлических изделий (труб, листов и др.). Припой должны связываться, образовывать смесь с соединяемыми материалами. Температура плавления припоя должна быть немного ниже температуры плавления спаиваемых материалов. В зависимости от температуры плавления припой разделяются на легкоплавкие (мягкие) с температурой плавления до 400°С и тугоплавкие (твердые) с температурой плавления до 1100°С. Состав мягких припоев колеблется: олово 4—63%, свинца 37—89%, сурьмы до 9%. Состав твердых припоев: меди 36—65%, цинка 35—64%; для паяния меди, бронзы в твердые припой вводят серебро от 5 до 45%. Алюминий хорошо спаивается сплавами меди и олова.

§ 119. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Литейное производство основано на получении заготовок или готовых деталей методом заливки жидкого металла в специальные литейные формы. Этим методом получают фасонные детали сложной конфигурации из чугуна, стали, медных, алюминиевых, магниевых и других сплавов, которые трудно получить с помощью других видов обработки (ковки, штамповки, сварки).

Литейное производство в СССР по своему развитию опередило капиталистические страны и по внедрению прогрессивных методов вышло на первое место в мире. Литейное производство складывается из следующих основных процессов: изготовление форм и стержней, получение жидкого металла, заливка форм, выбивка и очистка изделия. В литейном производстве в основном (до 95%) используют разовые формы, которые изготавливают из специальных формовочных смесей (песок, глина и связующее — продукты переработки нефти, декстрин, жидкое стекло и др.). По модели, соответствующей виду изделия (отливки), изготавливают литейную форму. Для образования внутри изделия отверстий, полостей изготавливают специальные стержни, которые помещают в форму (рис. 221).

Через специальное отверстие (литник) в форму заливают жидкий металл, после охлаждения, затвердевания отливка освобождается и подвергается дальнейшей обработке в зависимости от требований.

Для получения жидкого металла применяются различные плавильные печи: вагранки, пламенные, электрические, тигельные и другие, в качестве топлива используют каменный уголь, нефть, газ, электроэнергию.

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления изделий методом литья. Хорошие литейные свойства, относительно низкая стоимость, малая чувствительность к надре-

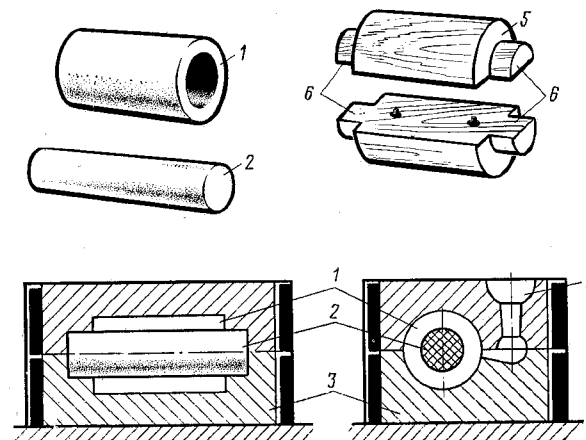


Рис. 221. Основные элементы литейной формы:

1 — отливка; 2 — стержень; 3 — нижняя опока; 4 — литник; 5 — модель; 6 — знак

зам (дефектам), высокая циклическая вязкость, прочность, высокое сопротивление износу и коррозии способствуют широкому его применению в машиностроении.

Специальные виды литья. К специальным видам литья относят: литье в металлические формы, литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям и литье в оболочковые формы.

Литье в металлических формах (в кокиль) применяют при массовом производстве отливок из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых, медных сплавов.

Литье под давлением состоит в том, что расплавленный металл вводят в металлическую форму под давлением поршня или сжатого воздуха. Детали получаются более точные по размерам, почти исключая механическую обработку с меньшим количеством дефектов.

Центробежное литье основано на принципе распределения жидкого металла на внутренних стенках вращающейся формы. Этим методом получают трубы, кольца, втулки и другие пустотелые изделия.

Для получения отливок из стали применяют углеродистые и легированные стали. Литейные свойства стали ниже, чем чугуна, температура плавления 1400—1900°С, сталь обладает меньшей жидкотекучестью, большей усадкой 2—3%. Для снятия внутренних напряжений отливки подвергают термической обработке.

§ 120. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработка металлов давлением основывается на использовании их пластических свойств, т. е. способности металлов деформироваться под действием внешних сил и сохранять измененную форму. При

обработке металлов давлением изменяется не только форма исходной заготовки, но и их структура и механические свойства. Для облегчения обработки металлов и сплавов давлением их предварительно нагревают. Каждый металл и сплав имеет оптимальную температурную зону нагрева: алюминиевые сплавы 350—500° С, сплавы меди 600—850° С, стали 900—1300° С.

Правильный нагрев металла перед обработкой обеспечивает получение мелкозернистой структуры, удаление и заваривание газовых пузырей и других дефектов. Все это приводит к уплотнению и повышению механических свойств металлов (табл. 131).

Таблица 131

Металл	Механические свойства металла			
	Литого		Обработанного давлением	
	Прочность, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	Прочность, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %
Ст. 2	33—37	12	42—44	22—24
Ст. 4	37—39	3	53	18—20
Алюминий	7	13	11	23—35
Дюралюминий	12—13	7—8	22—40	8
Медь	15	15	22—25	50—55

При обработке металлов при температуре, ниже рекомендуемой, или в холодном состоянии зерна металла вытягиваются, частично разрушаются, при этом происходит повышение твердости, прочности, упругости и снижается пластичность. Это явление называется наклепом.

Основными видами обработки металлов давлением являются прокатка, волочение, прессование, ковка, штамповка и холодное профилирование металла.

Прокатка — процесс деформирования металла путем пропуска заготовки между вращающимися валками, зазор между которыми меньше толщины обрабатываемой заготовки. Металл захватывается валками (благодаря трению между металлом и валками) и осуществляется деформация и движение заготовки в направлении подачи (рис. 222). При прокатке плоской заготовки толщина ее уменьшается, а длина и ширина увеличиваются. Валки бывают гладкие и калиброванные, в зависимости от которых получают гладкий или рифленый прокат. С помощью прокатки изготовляют рельсы, балки, листы, швеллеры, уголки, квадрат и арматурную сталь.

Волочение — процесс протягивания заготовки (прутка или трубы) через коническое отверстие размером, несколько меньшим, чем сечение заготовки (рис. 223). Многократным волочением изготовляют высокопрочную проволоку, трубы и т. д. Преимущества волочения следующие: возможность получения очень тонких профилей с точными размерами, повышение прочности и твердости металла за счет наклепа, т. е. упрочнения, вызванного накоплением

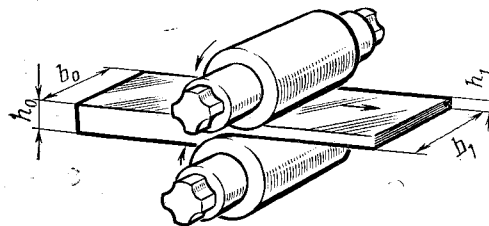


Рис. 222. Схема прокатки

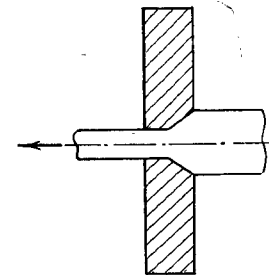


Рис. 223. Схема волочения

внутренней потенциальной энергии за счет уплотнения структуры металла. При многократном волочении наклеп может быть настолько значительным, что дальнейшая деформация станет невозможной.

Прессование — процесс выдавливания металла заготовки главным образом из цветных металлов и сплавов через профильное отверстие замкнутой формы для получения определенной формы изделия.

Ковка (свободная) — процесс свободного деформирования нагретой заготовки, осуществляемого последовательными ударами молота или нажимами пресса (рис. 224). Свободная ковка является наиболее простым и широко распространенным видом обработки давлением.

Ковка в штампах представляет собой процесс деформирования нагретой заготовки штампом по форме соответствующей конфигурации. Производительностьковки в штампах по сравнению со свободной ковкой выше в 50 раз и более. Ковка в штампах намного экономичнее свободнойковки, при этом качество и точность поковок в штампах также повышаются.

Листовая штамповка (холодная) выполняется преимущественно на прессах для обработки листового, ленточного и полосового материала в виде вырезки полосы, вытяжки пустотелых, открытых с одной стороны

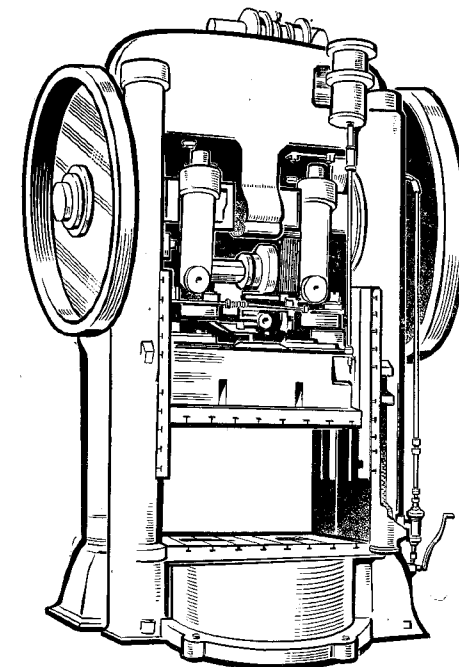


Рис. 224. Общий вид кривошипного пресса

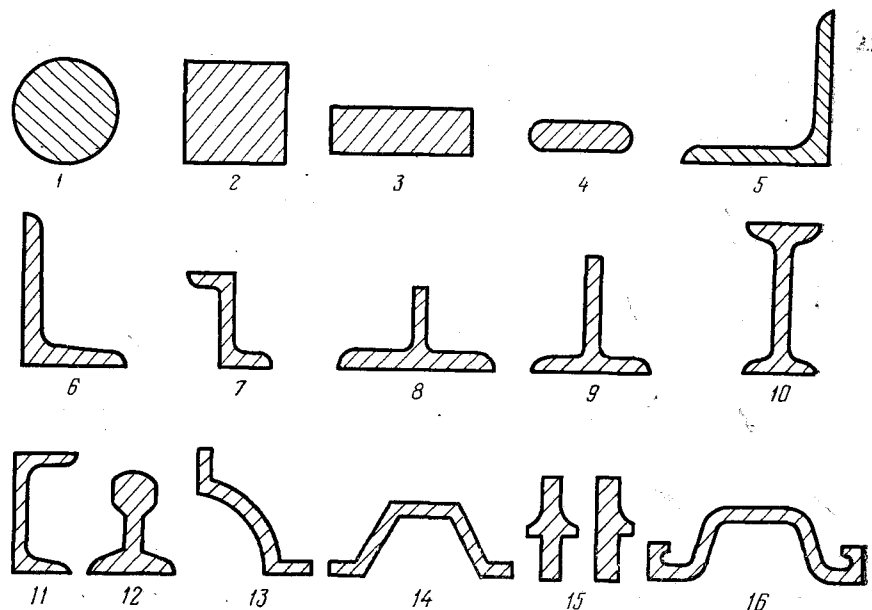


Рис. 225. Основной сортament стальных профилей:

1 — круглая сталь; 2 — квадратная; 3 — полосовая; 4 — шинная; 5 — равнобокий уголок; 6 — неравнобокий уголок; 7 — зетовый профиль; 8, 9 — тавровый; 10 — двутавровый; 11 — швеллер; 12 — рельс; 13 — колонный; 14 — корытный; 15 — оконный; 16 — шпунтовый

изделий и т. д. В последнее время внедряется штамповка массивных деталей методом взрыва, который является более экономичным по сравнению с другими методами.

Холодное профилирование металла — процесс деформирования листовой или круглой стали на прокатных станах. Из листовой стали получают гнутые профили с различной конфигурацией в поперечнике, которые намного экономичнее профилей горячей прокатки за счет сокращения толщины профиля до 2 мм. На станках холодного профилирования получают упрочненный периодический профиль арматуры путем сплющивания круглого стержня на отдельных участках в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При переходе от круглого профиля к вмятине предусмотрены скосы под углом 45° к оси стержня. Такое сплющивание приводит к упрочнению стали. Упрочненные стали обладают повышенной пределом текучести.

Сортамент стали. В зависимости от методов обработки сортамент строительных сталей можно разделить на три группы: I — горячей проката, II — холодной вытяжки, III — комбинированной обработки.

Сортамент стали горячей проката (рис. 225) получил широкое распространение в производстве строительных работ. Сортамент сталей — холодной вытяжки, состоит из высокопрочных холоднотянутых проволок круглого и периодического сечения, холоднотяну-

той проволоки обыкновенного качества. К сортаменту стали комбинированной обработки относятся гнутые профили (рис. 226) и холодносплюснутая сталь периодического профиля.

Применение стали. Стали низколегированные и углеродистые обыкновенного качества являются основными материалами для изготовления несущих металлических конструкций: мостовых ферм, ферм для перекрытия цехов, опор электропередач, арматурных каркасов в железобетонных конструкциях и т. д. При выборе стали для изготовления конструкций и деталей необходимо вначале ознакомиться с ее физическими и химическими свойствами, которые определяют прочность стали, ее свариваемость и возможность работы в определенных средах.

Соответствующую марку стали выбирают в зависимости от условий работы конструкции или детали, например: для несущих конструкций применяют стали марок МСтЗ, МСт4, МСт5, МЗ1, 25ГС, которые имеют высокий предел текучести и прочности, хорошую свариваемость; для мостостроения, изготовления резервуаров и трубопроводов применяют малоуглеродистую сталь марок МСтЗ, МСт2кп, МСтЗкп, которые малочувствительны к концентрации напряжений, имеют высокую ударную вязкость и хорошо сваривают-

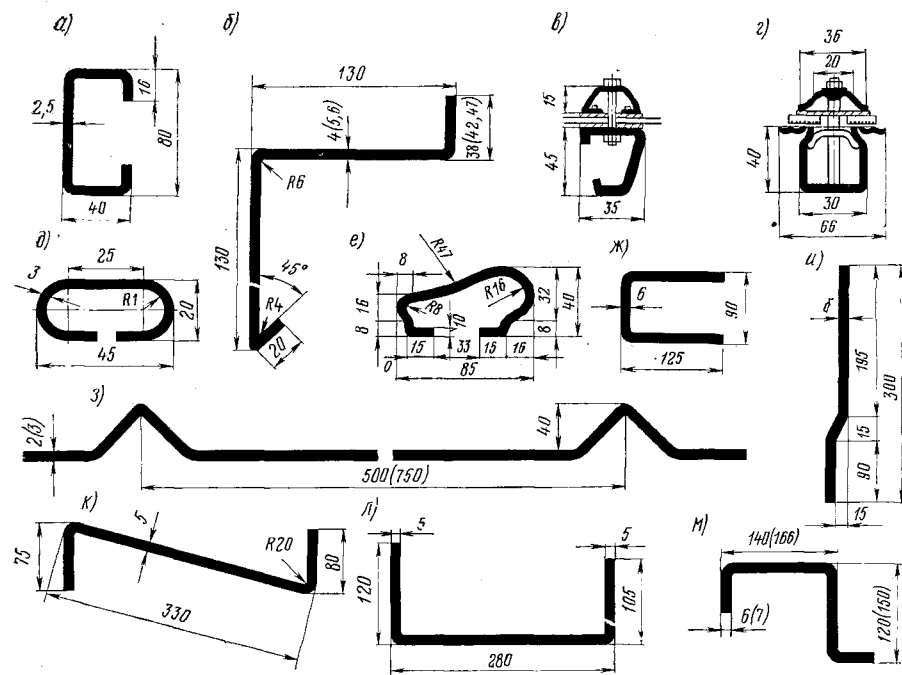


Рис. 226. Основной сортament гнутого профиля:

а, б, в — для несущих конструкций; г, в — оконные; г — для поручней; д — для резервуаров; е, ж, з, и, к, л, м — для металлической оснастки

ся; для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций подбирают высокопрочные малопластичные стали с пределом прочности 80—180 кгс/мм².

§ 121. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Обработка металлов литьем, ковкой, штамповкой не всегда обеспечивает заданную точность размеров и чистоту поверхности. В этих случаях окончательная обработка изделий производится резанием. Обработка резанием основана на снятии слоя металла с заготовки режущим инструментом и доведением размеров и чистоты поверхности до заданных. В последние годы для обработки металлов применяются новые методы: электрохимические, химико-механические, ультразвуковые, электроискровые и др.

Современная металлообрабатывающая промышленность располагает большим количеством различных типов универсальных и специальных станков, начиная от самых простых и кончая сложными автоматами с программным управлением и автоматизированными линиями.

Основными из них являются:

токарные станки предназначены для обработки внутренней и наружной поверхностей деталей. При этом обрабатываемая деталь

совершает вращательное движение, а режущий инструмент (резец, сверло) — поступательное (рис. 227, а);

фрезерные станки применяются для обработки поверхности сложной конфигурации. При работе станков вращательные движения совершает многолезцовый инструмент — фреза, а деталь — поступательное (рис. 227, б);

сверлильные станки предназначены для обработки отверстий. В этих видах станков при неподвижности детали инструмент осуществляет вращательное и поступательное движение (рис. 227, в);

строгальные станки предназначены для обработки поверхностей. При строгании деталь и инструмент совершают поступательное движение (рис. 227, г);

шлифовальные станки применяются для точной обработки деталей. В этих видах станков могут производить поступательные и вращательные движения деталь и инструмент (рис. 227, е, д);

зуборезные станки предназначены для обработки зубчатых колес. При этом инструмент совершает одновременно вращательное и поступательное движение, а деталь — только вращательное;

протяжные станки срезают с обрабатываемой поверхности стружку с помощью многолезвийного режущего инструмента — протяжки. Главное прямолинейное движение сообщается инструменту (рис. 227, ж).

Автоматические линии позволяют как бы соединить ряд отдельных станков и силовых головок в единое целое с широким использованием различных транспортирующих устройств. В автоматических линиях станки располагаются в строгой последовательности в соответствии с технологическим процессом, и заготовка автоматически передается от операции к операции.

При обработке металлов резанием необходимо обращать особое внимание на технику безопасности. Основными причинами травматизма при холодной обработке металлов являются: движущиеся механизмы станка, отходящая стружка, обрабатываемая деталь, режущий инструмент, токоведущие части электроустановок и плохая организация рабочего места рабочего.

Все движущиеся элементы станков во время работы представляют опасность, если доступ к ним открыт. Поэтому все передаточные звенья (приводы) должны быть ограждены съемными кожухами, доступ к которым разрешается только при полной остановке станка. Защита против отлетающей и завивающейся стружки, образующейся при обработке металла, осуществляется несколькими способами: на пути стружки ставят предохранительные экраны и щитки, устанавливают стружкоулавливатели, производят заточку резцов с канавкой, которая способствует завиванию и ломанию стружки вне детали.

Перед включением станка необходимо еще раз проверить надежное закрепление обрабатываемой детали. Это особенно относится к работам, выполняемым на сверлильных и строгальных станках, потому что вращательное и поступательное движение инструмента может вызвать неожиданный разворот детали. Необходимо запре-

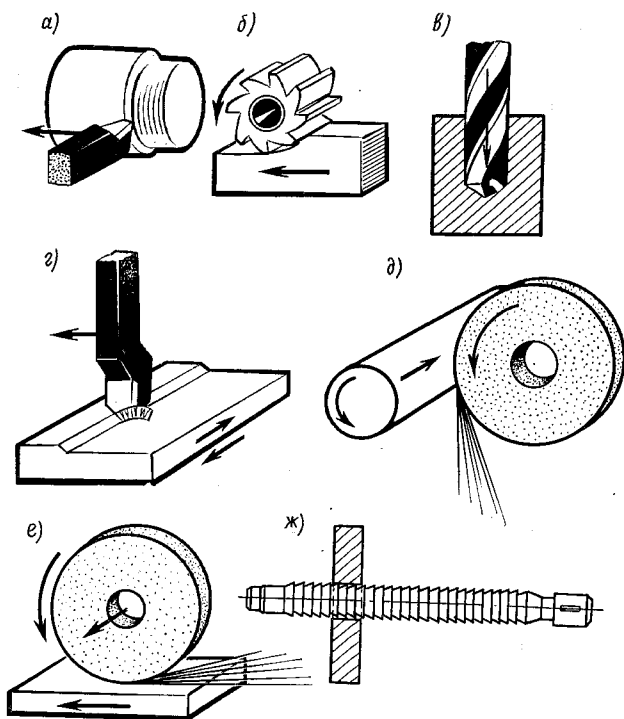


Рис. 227. Виды обработки металлов резанием

щать размещение инструмента и деталей на корпусе станков и особенно на их направляющей и рабочей частях. С этой целью следует обращать значительное внимание на правильную и рациональную организацию рабочего места рабочего. Корпусы электроустановок и двигателей должны быть заземлены.

§ 122. СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Сваркой называется процесс соединения в единое целое кусков металла или деталей путем их тесного сближения и обеспечения условий взаимного проникания атомов одного металла в другой с образованием прочного, жесткого, неразъемного соединения. Применение сварки дает экономию металла, она намного экономичнее клепки, литья. Сварка широко применяется в промышленности и в строительстве. С применением сварки изготавливают: металлические конструкции, арматурные каркасы, металлические резервуары, мостовые фермы и другие изделия.

При сварке различают следующие виды соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые (рис. 228). Стыковые соединения образуются сваркой торцовых поверхностей, кромки которых подготавливают в зависимости от толщины свариваемого металла. Сое-

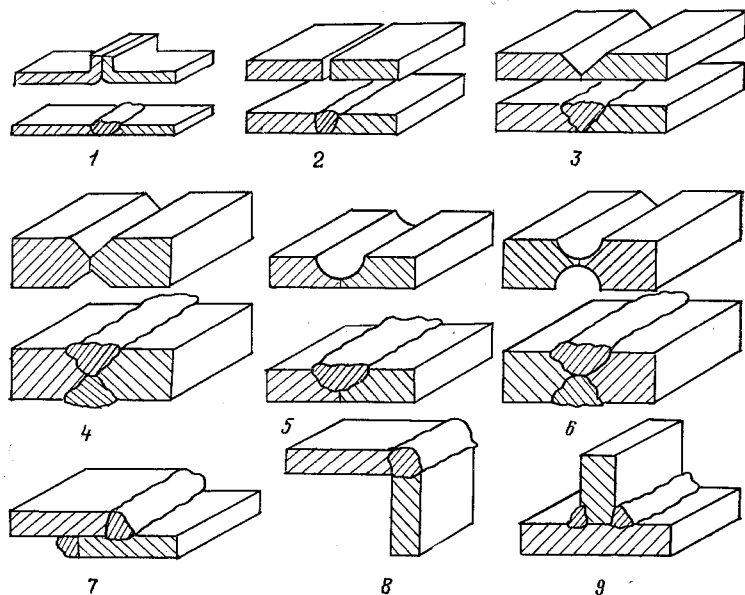


Рис. 228. Виды сварных соединений:

1 — соединения с отбортовкой; 2 — стыковое без скосов; 3 — стыковое V-образное; 4 — стыковое X-образное; 5 — стыковое U-образное; 6 — стыковое двустороннее чашеобразное; 7 — нахлестку; 8 — угловое; 9 — тавровое

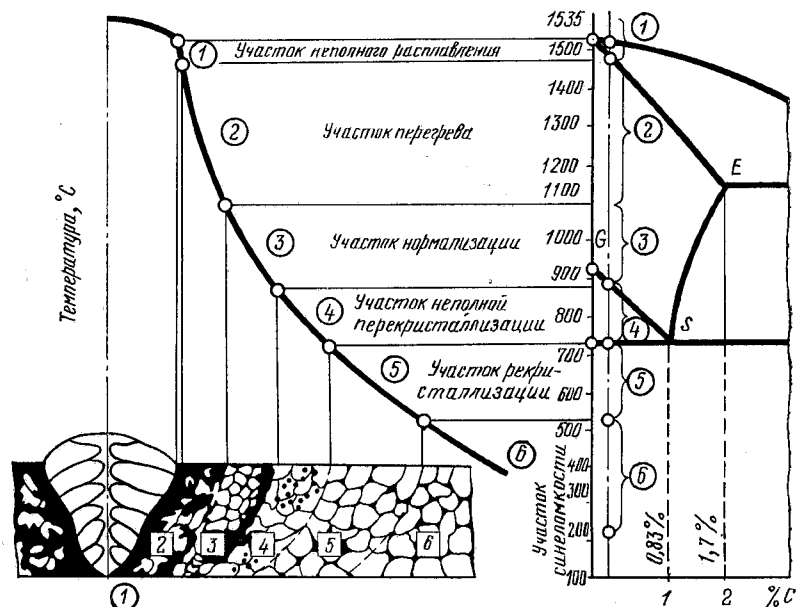


Рис. 229. Схема структурных изменений в сварном шве

динения внахлестку производят угловыми швами, величина нахлестки берется равной трех-, пятикратной толщине свариваемых элементов. Угловые и тавровые соединения выполняются путем приварки одного элемента изделия к другому под углом 90° .

В зависимости от состояния металла в момент сварки различают два основных ее вида: 1) сварка пластичным металлом — металл нагревают до пластичного состояния (до сварочного жара), после чего его сваривают под давлением или под ударом; 2) сварка расплавленным металлом — металл нагревают выше температуры плавления, после чего сваривают без применения механического воздействия, но с добавлением расплавленного металла.

Структура сварного соединения. Высокий местный нагрев при сварке вызывает значительное изменение в структуре металла. При сварке углеродистых сталей металл в зоне термического воздействия нагревается до температур выше критических, т. е. переходит в аустенитную структуру, так что в процессе последующего охлаждения в этой зоне происходит перекристаллизация с образованием новых структур, соответствующих скорости охлаждения.

На рис. 229 приведена схема структурных изменений в зоне термического воздействия при сварке низкоуглеродистой стали. Зона термического воздействия распространяется только на те участки металла, где температура поднимается выше линии GS (см. рис. 229). В зависимости от температуры нагрева вся зона разделяется на шесть участков:

1. *Неполного расплавления металла* — узкая полоска, по которой проходит граница между наплавленным и основным металлом. При дуговой сварке эта зона резко выделяется в виде тонкой линии на макрошлифе, при газовой сварке линия сплавления на макрошлифе расплывчата.

2. *Зона перегрева*, где основной металл нагревается значительно выше линии *GS*. Здесь наблюдается крупнозернистая структура. При дуговой сварке зона перегрева занимает небольшую часть всей зоны влияния, при газовой сварке эта зона является преобладающей.

3. *Зона нормализации*, где основной металл нагревается немного выше линии *GS*. В этой зоне при обычных условиях сварки образуется мелкозернистая структура сорбита. При дуговой сварке эта зона является преобладающей, при газовой — слабо выражена вследствие значительно большего объема нагреваемого металла.

4. *Зона неполной перекристаллизации*, где температура нагрева лежит внутри критического интервала. Структура получает промежуточный характер, наряду с крупными зернами имеются мелкие, прошедшие превращения.

5—6. *Зона рекристаллизации*, нагрев до 400—700°С, структура подобна основному металлу.

Чем меньше околосварная зона термического воздействия, тем выше свойства сварного шва. Зона термического воздействия зависит от вида сварки: при механической и электроннолучевой сварке она наименьшая, при электросварке она меньше, чем при газовой.

В зависимости от источника нагрева различают электрическую, химическую, механическую сварку. Это деление является, в известной мере, условным.

Электрическая сварка

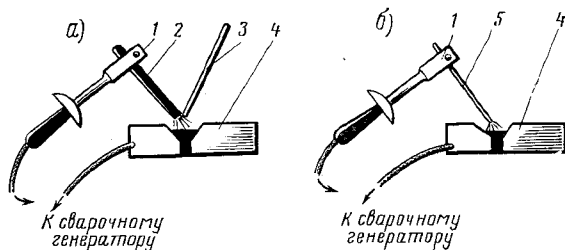
Электрическая сварка основана на использовании тепла, выделяемого электрическим током. Электрическая сварка подразделяется на сварку сопротивления или контактную), при которой электрический ток выделяет тепло за счет омического сопротивления (в контактах свариваемых деталей), и электродуговую, т. е. с использованием при сварке тепла, выделяемого электрической дугой.

Электродуговая сварка. Источником тепла при электродуговой сварке является электрическая дуга, открытая в 1902 г. проф. В. В. Петровым. При этом температура, развивающаяся в центре столба дуги, достигает 6000°С.

Практическое применение электрической дуги для сварки металлов было осуществлено русскими инженерами Н. Н. Бенардосом (1842—1905 гг.) и Н. Г. Славяновым (1854—1897 гг.). По способу Бенардоса (рис. 230, а), электрическая дуга возбуждается в атмосфере между угольным электродом и свариваемой деталью. При этом способе используются постоянным током. Положительный полюс присоединяют к свариваемому изделию, отрицательный — к угольному электроду. Присадочный материал вводят отдельно. Этот спо-

Рис. 230. Схема электродуговой сварки:

1 — электродержатель; 2 — угольный электрод; 3 — присадочная проволока; 4 — изделие; 5 — металлический электрод



соб сварки широко применяется при сварке цветных металлов. Способ Славянова (рис. 230, б) является основным видом сварки, применяемым для соединения элементов металлических строительных конструкций.

При контакте изделия и электрода между ними возникает электрическая дуга, при этом развивается температура выше 5000°С. При этой температуре металл электрода переходит в мелкокапельное жидкое состояние и переносится на свариваемое изделие. Металл изделия также расплавляется на некоторую глубину, которая называется глубиной провара, образуя с наплавленным металлом однородный сплав и придавая высокую прочность соединениям. Несмотря на большую распространенность, электродуговая сварка имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся: малая скорость сварки за счет большой зоны разогрева металла, что, в свою очередь, вызывает коробление изделия, пористость шва и выгорание легирующих компонентов из сплавов во время окислительных процессов, затруднение сварки металлов и сплавов с различными физико-механическими свойствами.

С целью устранения отмеченных недостатков в последние годы получила распространение электродуговая сварка в среде защитных газов или под флюсом. Электрическая сварка металлов, которая происходит в среде защитного газа, называется *газоэлектрической*. К газоэлектрической сварке относятся атомноводородная и аргонодуговая виды сварки.

При атомноводородной сварке независимая электрическая дуга возбуждается между двумя вольфрамовыми электродами в среде водорода. Водород стабилизирует электрическую дугу и, заполняя участок свариваемого металла, не дает возможности кислороду и азоту воздуха действовать на расплавленную массу металла. Тем самым устраняется возможность окисления и нитрирования сварного шва.

При сварке в защитной среде электрическая дуга возбуждается между вольфрамовым электродом и деталью в защитной среде аргона или углекислого газа. Присадочный материал берут того же состава, что и металл свариваемого изделия.

Она применяется для сварки нержавеющей сталей, окалиностойких магниевых и алюминиевых сплавов, а также для получения сварных соединений, обладающих высокой коррозионной стойкостью.

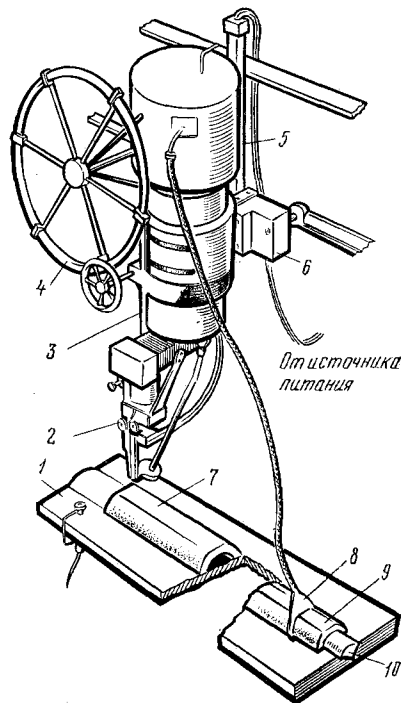


Рис. 231. Схема установки для автоматической электродуговой сварки металла под флюсом:

1 — свариваемый металл; 2 — сварочная головка; 3, 4 — электродная проволока и бунта; 5 — бункер с гранулированным флюсом; 6 — самоходный привод; 7 — слой флюса; 8 — шланг для отсоса неиспользованного флюса в бункер; 9 — шлаковая корка; 10 — сварной шов

С целью экономии дефицитного аргона в настоящее время стали применять комбинированную газовую защиту зоны сварки: в центре — аргон, по периферии — углекислый газ. Для соединения деталей из углеродистых сталей большое распространение получила газозлектрическая сварка в среде дешевого углекислого газа.

При сварке дугой, возбужденной в атмосфере окружающего воздуха переменным током, необходимо применять присадочный материал в виде проволоки, покрытой специальной обмазкой. Назначение обмазки — обеспечить устойчивость пламени электрической дуги, предохранить металл от вредного действия на него кислорода и азота воздуха. Образующиеся при плавлении обмазки шлаки должны быть жидкоплавитими и иметь меньшую плотность, чем свариваемый металл.

Для того чтобы увеличить скорость сварки и создать более постоянный электрический режим для дуги, в настоящее время применяют автоматиче-

скую сварку при помощи сварочных тракторов и автоматических сварочных головок. Качество автоматической сварки значительно выше, так как исключается влияние индивидуальных особенностей сварщика (квалификация, утомляемость и т. д.). Равномерность продвижения электрической дуги вдоль шва при применении автоматической сварочной головки позволяет применять более высокую силу тока, а следовательно, и более высокие скорости сварки.

Автоматическая сварка по сравнению с ручной увеличивает производительность в 2—2,5 раза, а применение сверхскоростной сварки, предложенной акад. Е. О. Патеном, до 40 раз. Последний способ сварки заключается в том, что электрическая дуга возбуждается в среде окружающего шов расплавленного флюса. Расплавленный металл при этом способе полностью изолирован от воздуха, чем создаются, с одной стороны, весьма благоприятные условия для получения высококачественного, однородного по структуре напла-

вленного металла, а с другой — значительная экономия тепла дуги (рис. 231).

При сварке под флюсом на плавление металла электрода и основного металла расходуется 68% всего тепла дуги, а при обычной сварке — только 25%. Поскольку дуга невидима, создаются благоприятные условия для работы сварщика и для обеспечения ровности накладываемого с большой скоростью шва. Этот метод сварки применяется при монтаже металлических конструкций и для устройства стальных пролетных строений мостов.

Дуговая сварка под водой. Для подводной сварки применяют электроды с более толстой (до 1 мм) и водонепроницаемой обмазкой, устраняющей электролиз. Сила тока при этом требуется несколько большая, чем при сварке на воздухе. При применении постоянного тока получаются лучшие результаты.

Контактная сварка. При контактной сварке или сварке методом сопротивления электрический ток подводится к двум свариваемым изделиям. При их контакте используется выделяющееся тепло, которое размягчает металл, и при их сближении под нагрузкой они свариваются. Изменяя силу тока и время его прохождения через свариваемое изделие, можно регулировать количество выделяемого тепла. В настоящее время применяются три вида контактной сварки:

точечная сварка применяется для соединения внахлестку при сварке арматурных сеток и каркасов. Суммарная толщина металла обычно не превышает 20 мм. Свариваемая арматура или листы укладываются внахлестку или соединяются при помощи накладки и зажимаются между двумя медными электродами (рис. 232, а). При включении тока часть металла, находящегося между электродами, нагревается до сварочной температуры и затем быстро и сильно сдавливается электродами. В настоящее время для точечной сварки применяются различные высокопроизводительные сварочные машины;

роликовая сварка применяется главным образом для соединения листового металла с целью получения не только прочного, но и плотного герметического соединения. От точечной сварки она отличается тем, что в ней стержневые электроды заменены вращающимися роликами, которые захватывают свариваемые листы и создают непрерывный шов (рис. 232, б). При прохождении тока металл

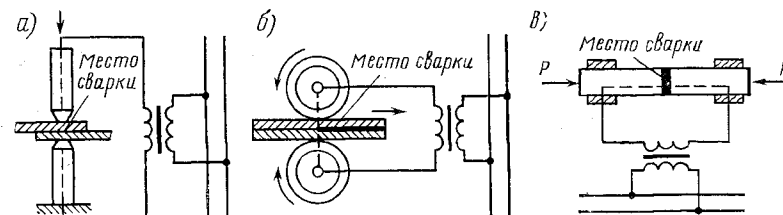


Рис. 232. Схема контактной сварки

под роликами нагревается и сваривается под влиянием давления роликов. Максимальная суммарная толщина свариваемых листов составляет 6 мм. Роликовая сварка находит применение при массовом изготовлении деталей, требующих прочного и плотного соединения;

стыковая сварка применяется при сварке металлических стержней (арматуры) и выполняется по методу сопротивления и по методу оплавления (рис. 232, в).

При сварке по методу сопротивления торцы свариваемых стержней зажимают в держателях электросварочной машины, прижимают друг к другу, затем включают электрический ток, который разогревает металл в месте контакта и в прилегающих участках до сварочной температуры. В месте сварки и образуется утолщение, которое усиливает соединение стержней.

При сварке методом оплавления концы стержней закрепляют в электродных зажимах и включают ток, концы стержней сводят до соприкосновения, затем снова разводят для образования между ними искрения, которое вызывает оплавление стыка по всему сечению. Когда оплавление торцов произойдет, ток выключают и сваривают под давлением, приложенным по оси стержней.

Химическая сварка

Химическая сварка производится за счет тепла химических реакций и делится на газовую и термитную.

Газовая сварка. При газовой сварке тепловым источником служит тепло продуктов сгорания смеси кислорода с горючим газом или жидким распыленным топливом. В настоящее время применяются следующие горючие газы: ацетилен, водород, нефтегаз, природный газ, газ горючих жидкостей, а также пары бензина, бензола, керосина и др.

Ацетилено-кислородная сварка наиболее экономична и эффективна из всех видов газовой сварки. Ацетилен (C_2H_2) — бесцветный газ с плотностью 0,906, который получают путем воздействия воды на карбид кальция $CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$. При давлении 1,75 кгс/см² и выше ацетилен взрывоопасен.

Карбид кальция жадно соединяется с водой и разлагается даже от действия паров воды, находящихся в воздухе, поэтому его транспортируют в герметически закрытых железных барабанах.

Ацетилен получают в газогенераторах, различающихся по величине рабочего давления на газогенераторы низкого, среднего и высокого давления. Процесс полного сгорания ацетилена в кислороде следующий: $2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$. При сварке ацетилен и кислород подают по объему в отношении 1 : 0,9—1,6, в зависимости от вида пламени недостающее количество кислорода (около 1,4 части по объему) для полного сгорания не подается из баллона, а поглощается из воздуха.

При полном сгорании ацетилена в кислороде образуется пламя из трех зон (рис. 233), называемое нейтральным. Наивысшая тем-

пература (около 3200°С) находится во второй зоне на расстоянии от 3 до 7 мм от конца ядра пламени. Этим участком пламени обычно и производится сварка.

Металлы свариваются специальными приборами — сварочными горелками, в которых ацетилен смешивается с кислородом (рис. 234). Ацетилен сгорает у выхода из горелки.

Процесс сварки осуществляется направлением присадочного металла на оплавленный ацетилено-кислородным пламенем шов. Присадочным материалом при газовой сварке служит чистая стальная проволока диаметром от 2 до 8 мм с содержанием углерода от 0,15 до 1,5% в зависимости от состава свариваемого металла. Для уменьшения степени окисления шва во время сварки применяются флюсы, из которых наибольшее распространение имеют бура и борная кислота.

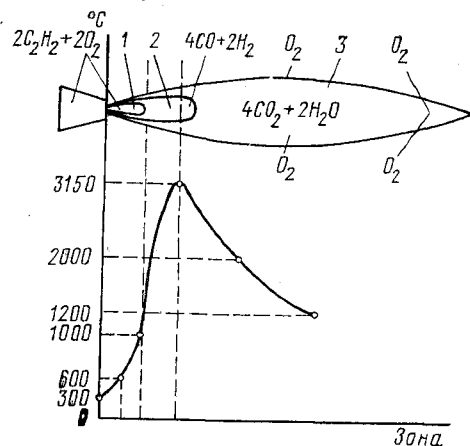


Рис. 233. Схема строения сварочного нейтрального пламени:
1 — зона ядра; 2 — восстановительная зона; 3 — окислительная зона

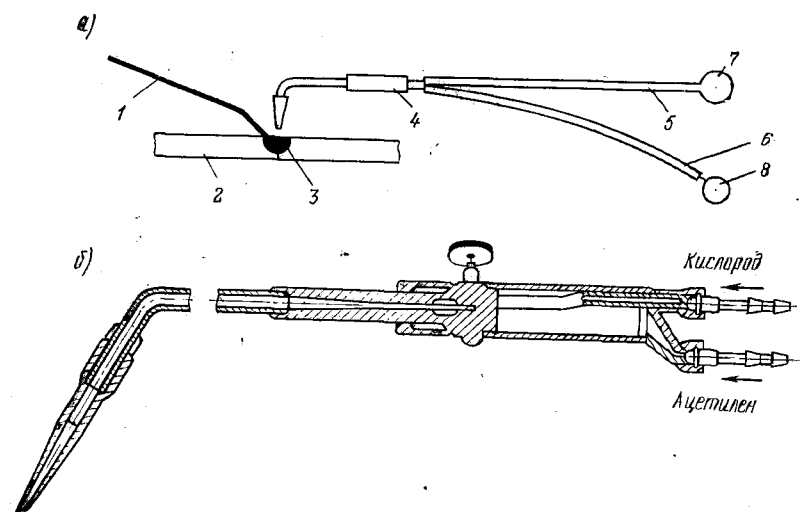
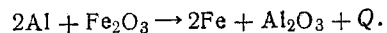


Рис. 234. Схема газовой сварки металла и сварочной горелки:
1 — присадочный материал; 2 — свариваемый металл; 3 — наплавленный металл; 4 — корпус горелки; 5, 6 — шланги ацетилена и кислорода; 7 — ацетиленовый генератор; 8 — баллон с кислородом

Газовую сварку обычно применяют при сварке изделий толщиной не более 30 мм. При большой толщине свариваемого изделия целесообразно применять электродуговую сварку. Для массовой сварки деталей сравнительно простых форм (стальных катков, баков, паровых и водяных радиаторов, глушителей и т. п.), допускающих применение шаблонов, широко используются различные сварочные машины-автоматы.

Для сварки стыков стальных трубопроводов для газа, нефти и т. д. диаметром от 50 до 600 мм в последние годы получила широкое распространение *газопрессовая сварка*, при которой металл нагревается ацетилено-кислородным пламенем при помощи специальной горелки до сварочного жара, позволяющего произвести осадку трубы и сварить таким образом стык.

Термитная сварка использует тепло химической реакции смеси алюминиевого порошка (22%) и чистой железной руды или окалины (78%). При горении термита протекает экзотермическая реакция:



Температура достигает 3000° С. Концы свариваемых деталей свариваются с заполнением зазора восстановленным железом. Термическую сварку применяют для сварки труб, рельсов, при ремонтных работах.

Свариваемость сталей и дефекты сварочного шва

Свариваемость металлов при одном и том же виде сварки зависит от ряда факторов, главными из них являются химический состав и свойства свариваемых металлов и применяемых электродов, режим сварки, термическая обработка до и после сварки.

Окисления отдельных элементов (например, углерода) могут дать газообразные продукты и вызвать пористость шва. Кроме того, содержание углерода влияет на закаливаемость стали в зоне термического воздействия сварки. При содержании углерода до 0,25% стали свариваются хорошо, при большем содержании влияние его на закалку делается заметным и для предотвращения трещин рекомендуется предварительный прогрев. Другие элементы, содержащиеся в стали, например кремний, алюминий, могут образовывать тугоплавкие окислы, которые в наплавленном металле могут оставаться в виде неметаллических включений и снижать качество сварки.

Основными дефектами свариваемых швов являются: непровар вследствие неправильного режима сварки; пористость вследствие насыщения металла газами; трещины в наплавленном и основном металле образуются вследствие появления внутренних напряжений в процессе сварки (они возникают при неправильном ведении сварки, большом количестве наплавленного металла и др.); пережог возникает вследствие окисления при слишком большой длине дуги (при дуговой сварке) или при избытке кислорода (при газовой сварке).

Контроль сварки. Возникающие дефекты сварки должны быть обнаружены и устранены. Выбор способа контроля сварных швов определяется характером конструкции и ее ответственности. Контроль сварных швов производится в следующем порядке:

1) внешний осмотр — выявление тех дефектов, которые можно обнаружить путем осмотра (с лупой) и обмера. Такое освидетельствование обязательно для всех типов свариваемых соединений строительных конструкций;

2) испытание на прочность производится с помощью специальных приборов, датчиков, устанавливаемых на деталях конструкций, по которым определяются напряжения и деформации (прогибы);

3) испытание на плотность производится гидравлическим испытанием или керосиновой пробой;

4) определение скрытых дефектов производится с помощью звукового и ультразвукового метода, электромагнитного исследования, просвечивания лучами Рентгена. Определение структуры сварного шва производится с помощью металлографического анализа.

Резка металла

Наряду со сваркой в строительстве широко применяется и газовая резка металла, которая заключается в нагревании металла до температуры воспламенения в среде кислорода, сжигании его и выдувании образовавшихся окислов струей кислорода. Температура горения железоуглеродистых сплавов с содержанием углерода до 0,7% ниже температуры их плавления, и они хорошо поддаются резке. С повышением содержания углерода (более 0,7%) температура горения сплава приближается к температуре плавления, и они плохо поддаются резке. Для резки высоколегированных сталей и чугунов применяют флюсо-кислородную резку.

Газовую резку ведут на обычном газосварочном оборудовании, только сварочную горелку заменяют режущей, подающей газовую смесь для подогрева и кислород для сжигания металла. В качестве горючего газа чаще всего применяют ацетилен, но могут быть использованы и другие газы, а также пары бензина или керосина.

Газовую резку можно выполнять вручную и при помощи специальных машин — полуавтоматов и автоматов. В полуавтоматах автоматическая резка возможна только в определенном направлении, в автоматах режущая горелка имеет движение по любому контуру. В СССР для автоматической резки изготавливают автоскопы, которыми можно резать по шаблону и по чертежу.

Техника безопасности при сварке и резке металла. Основными опасностями при электродуговой и газовой сварке и резке металла являются: поражение током, ожог дугой, расплавленным металлом или факелом, повреждение зрения излучением сварочной дуги или пламенем горелки и загрязнение воздуха вредными парами, газами и пылью.

Для предупреждения поражения работающих электрическим током провода для подключения сварочных аппаратов к сети должны быть изолированы, заключены в резиновую трубку и не должны иметь механических повреждений, а кожуха сварочных аппаратов — надежно заземлены.

При ручной сварке конструкция рукоятки электродержателя должна позволять смену электродов при снятом напряжении; она выполняется из огнестойкого, малотеплопроводного и диэлектрического материала. При работе в опасных условиях, когда возникает опасность прикосновения сварщика к заземленным конструкциям, требуется производить работы в резиновых перчатках, ботах или на коврике, в шлемах, с налокотниками и наколенниками.

Для предупреждения ожогов и повреждения зрения рабочие, производящие горячую резку и сварку металлов, должны быть одеты в брезентовую спецодежду и рукавицы, а также снабжены светозащитными очками и щитками со светофильтрами. Рабочее место сварщиков ограждается шторами или щитками.

При работе с газовыми аппаратами необходимо перед началом работы проверить исправность ацетиленовых аппаратов, пригодность к эксплуатации шлангов и горелок. Ацетиленовые генераторы должны устанавливаться в отдельных изолированных помещениях неотапливаемого или трудноотапливаемого здания.

В связи с образованием при сварке вредных паров, газов и пыли следует обеспечивать проветривание зоны, где происходят работы по резке и сварке металла. При резке металлов, окрашенных свинцовыми красками, сварщики должны работать в особых шлемах или масках с подачей воздуха для дыхания.

§ 123. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Коррозией называется процесс разрушения металла вследствие физико-химического влияния на него внешней среды. Коррозия наносит большой ущерб народному хозяйству; около 10—12% от ежегодно производимого черного металла теряется от коррозии.

Разрушение металлов и сплавов от коррозии в основном зависит от природы металла, его химического состава, содержания агрессивных веществ в окружающей среде и температуры. В зависимости от механизма процесса коррозия делится на химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия — это разрушение металлов от воздействия на них сухих газов или неэлектролитов бензина, масел и др. Примером химической коррозии является окисление металлов при высоких температурах. Во время химической коррозии на поверхности металла появляется пленка окислов, которая в большинстве случаев является защитной. Защитная пленка предохраняет от коррозии лежащий под ней металл. Такие пассивные к окружающей среде пленки образуются на поверхности алюминия, свинца, олова, никеля, хрома.

Электрохимическая коррозия — разрушение металлов и сплавов под воздействием электролитов. Электролитами могут быть растворы солей, кислот, природные воды, влажный воздух.

Металлические конструкции, работающие на воздухе, покрываются тонкой пленкой влаги с растворенными в ней различными веществами (в зависимости от характера производственной среды), в результате чего на поверхности металла образуется пленка электролита. На изделия, находящиеся в почве (трубы, кабели, конструкции оснований и фундаментов), также действуют растворы солей, кислот, щелочей. Электрохимический вид коррозии является наиболее распространенным.

Ввиду неоднородности структуры сплавов, разности состояний по его зернам и границам в присутствии электролита между этими разнородными участками образуются как бы микроэлементы, в каждом из них образуется свой анод и катод. Таким образом, при соприкосновении металлических кристаллов с раствором электролита ион металла покидает решетку металлического кристалла и переходит в раствор. В результате металл оказывается заряженным отрицательно, а раствор — положительно, так как в нем получается избыток катионов.

Разрядка происходит путем перемещения свободного электрона к тем местам, где имеются катионы электролита (например, ионы водорода, получающиеся от диссоциации водного раствора электролита). В результате взаимодействия электрона с ионом водорода получаются нейтральные атомы водорода.

Весь процесс выражается уравнением: металл + ион водорода = ион металла + атом водорода. Практически это равновесное состояние в силу ряда причин наступить не может, и процесс растворения металла будет происходить до полного его разрушения.

Стремление атомов данного металла перейти в ионную форму и раствориться в жидком электролите определяется величиной электрохимического потенциала. Эти свойства металла называются упругостью растворения. Каждый металл обладает присущей ему упругостью растворения. Таким образом, по величине потенциала данного металла в данном электролите можно определить, будет ли этот металл корродировать или нет.

Чем отрицательнее нормальный электрохимический потенциал, тем более резко выражено стремление металла к растворению в электролитах. Так, например, олово будет растворяться в растворе серной кислоты быстрее, чем железо, а цинк наоборот.

Защитное действие всегда оказывает более активный металл. Цинк, как более активный должен защищать железо, олово — усиливать его коррозию.

Действие оловянного покрова (лужение изделия для предохранения его от коррозии) чисто механическое, и достаточно в одном месте нарушить цельность оловянного покрова, как железо начнет усиленно корродировать вследствие образования гальванической пары олово — железо. Иначе обстоит дело с цинковым покрытием: до тех пор пока не растворится весь цинк, железо не корродирует.

Защита металла от коррозии. В настоящее время применяются следующие способы защиты металлов от коррозии:

Защита легированием, т. е. введением в металл легирующих элементов, повышающих сопротивление сплава коррозии, например, введением никеля и хрома в нержавеющие кислотоупорные стали, меди — в строительные стали.

Существует много разновидностей перлитно-аустенитной стали с различным содержанием Cr и Ni , Mo и Cu , а также Ti , обладающих повышенной стойкостью в агрессивных средах.

Защита оксидными пленками. К этому виду защиты относится оксидирование и фосфатирование, которые производятся путем кипячения изделий в специальных составах (селитры, едкого натра и перекиси марганца или фосфорной кислоты и ее железных и марганцевых солей). Образующиеся пленки темного цвета обладают хорошей коррозионной устойчивостью.

Защита металла покрытием пленкой из другого металла. При этом следует различать: а) катодное покрытие, т. е. покрытие металлом, который является более электроположительным (менее активным), чем основной металл изделия (при этом случае пленка является только механической защитой); б) анодное покрытие, т. е. покрытие основного металла металлом с более отрицательным электродным потенциалом. В этом случае пленка является электрохимической защитой.

По методу нанесения металлической пленки различают:

горячее покрытие, т. е. покрытие, наносимое путем погружения детали в ванну с расплавленным металлом (цинк, олово, свинец); гальваническое покрытие, полученное путем электролитического осаждения на поверхности основного металла (катода) его солей из водного раствора (анода): металлизация — нанесение путем разбрызгивания слоя расплавленного металла под давлением сжатого воздуха.

Покрытие металлических изделий слоем лака или краски имеет своей целью изолировать основной металл от окружающей его влажной среды. Этот метод является самым простым и распространенным, широко применяется для защиты всех строительных конструкций и деталей (ферм, колонн, листов и т. д.).

При изготовлении железобетонных конструкций в зависимости от вида бетона и вяжущего необходимо предусматривать определенные меры защиты арматуры и закладных деталей от коррозии. Гипсовые и другие серосодержащие вяжущие вызывают коррозию арматуры и практически для изготовления железобетонных изделий не применяются. Для характеристики агрессивности сред, подобных бетонным, принято определять концентрацию водородных ионов, т. е. pH . Влияния скорости коррозии и зависимости от pH приведены на рис. 235. Как следует из приведенных исследований, в кислых средах с pH менее 4,3 коррозия зависит от pH и идет очень быстро. В слабокислых и слабоосновных средах с pH от 4,3 до 10 скорость коррозии меньше и почти не зависит от pH . В щелочных растворах с pH больше 10 коррозия протекает медленно и она за-

висит от pH . Так, коррозия при pH -12 в 2 раза меньше, чем при pH -10.

Проведенные многочисленные исследования показывают, что pH поровой жидкости портландцемента 11,25—11,80, шлакопортландцемента 10,4—10,8. Таким образом, pH поровой жидкости портландцемента не вызывает коррозии, и плотный бетон является хорошей защитой арматуры от коррозии. Однако арматура в легких и пористых бетонах при работе во влажных и агрессивных средах требует антикоррозионной защиты.

Для защиты арматуры от коррозии ее покрывают защитными пленками: цементно-казеиновыми обмазками, жидким стеклом, керамическими эмалями.

Для защиты более ответственных элементов, закладных деталей применяют цинкование. К органическим защитным пленкам относятся битумные, битумоцементные и другие покрытия на основе искусственных полимеров, смол, латексов (например, цементно-поливинил-ацетатная, цементно-полистирольная и др.). Основными методами нанесения антикоррозионного покрытия являются окунание, полив, обрызгивание. В последнее время предложен метод окраски в электрическом поле, в котором частицы покрытия ионизируются и притягиваются к осадительному электроду — арматуре.

Наиболее широкое применение для защиты металлов от коррозии получили методы нанесения полимерных пленок. В США около 25% всех выпускаемых синтетических смол и пленок идет на защитные покрытия. В ФРГ около 15% всего проката выпускается с защитными покрытиями. В качестве покрытия на малоуглеродистую сталь чаще всего применяется поливинилхлоридная пленка, а также полиэтилен, полиамиды и другие пластмассы. Получаемый новый конструкционный материал — металлопласт — обладает комплексом свойств, присущих металлу и пластмассам, и легко поддается механической обработке. Металлопласт примерно в 6 раз дешевле и значительно долговечнее нержавеющей стали. Этот метод защиты металла от коррозии является прогрессивным и в дальнейшем должен получить самое широкое распространение.

В последние годы в соответствии с разработками Института химии силикатов АН СССР для защиты от коррозии металлоконструкций, работающих в агрессивных средах (предприятия химической промышленности), применяются органосиликатные краски. Опыт их применения на предприятиях Белоруссии, Ленинграда (мосты через Неву), Норильска и других городов показывает высокую эффективность органосиликатных покрытий.

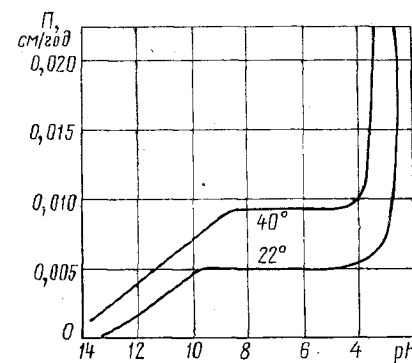


Рис. 235. Зависимость коррозии от pH раствора (P — средняя убыль толщины металла)

Лакокрасочные материалы

§ 124. СОСТАВЛЯЮЩИЕ КРАСОК И ЛАКОВ

Составляющими красок и лаков являются пигменты и связующие вещества. В состав некоторых лакокрасочных материалов входят вспомогательные компоненты (сиккативы, растворители, разбавители).

Пигменты представляют собой минеральные или органические цветные порошки, образующие при смешении со связующими красочные пасты или суспензии.

Различают пигменты минеральные (искусственные и природные), металлические порошки и органические пигменты. В строительстве используют главным образом минеральные пигменты, как обладающие большой атмосферостойкостью, химической стойкостью и светостойкостью, что особенно важно при покрасках наружных частей зданий и сооружений.

Пигменты характеризуются показателями следующих основных свойств: укрывистости, красящей способности, тонкости помола, свето-атмосфероустойчивости. Укрывистость, или кроющая способность, характеризуется количеством пигмента в красящем составе, способным перекрыть цвет 1 м² поверхности. Красящая способность — это интенсивность окраски, характеризующаяся минимальным количеством пигмента, необходимым для придания белой краске цветного тона.

От красящей способности пигмента зависит расход его для получения тона в красочном составе.

Светостойкость характеризует способность пигмента сохранять свой цвет под действием света, по изменению окраски судят о степени светостойкости пигмента.

Пигменты минеральные природные включают в себя пигменты белые (мел, каолин), желтые (охра, сиена), красные (сурик железный, мумия), коричневые (умбра), серые (графит). Мел и каолин отмученные применяют в красящих составах на клеевых, казеиновых, силикатных и известковых связующих; их применяют и в качестве наполнителя грунтовок и шпаклевок. Охра — природный пигмент, состоящий из глины и окиси железа от 10 до 25%. Она свето- и щелочестойка, применяется в масляных, клеевых, эмалевых и других составах.

Сиена натуральная отличается от охры повышенным содержанием окиси железа (35—70% Fe₂O₃).

Сурик железный Fe₂O₃·FeO — светостойкий пигмент, обладающий антикоррозионными свойствами, применяется для окраски металлических крыш. Его получают при помоле железной руды.

Мумия природная представляет собой тонкий порошок глины, окрашенный окислами железа. Содержание последних должно быть не менее 35%. Она свето- и щелочестойка. Применяют мумию в масляных и водных составах.

Умбра — это глина, окрашенная окислами железа и марганца. Окислов железа должно быть в ней не менее 48%, а окислов марганца 7—14%. Умбра широко применяется в клеевых красках, используется также в виде масляной краски.

Графит — природный пигмент серовато-черного цвета с характерным металлическим жирным блеском. Графит отличается устойчивостью к действию высоких температур и кислот, применяется он в масляных красках.

Пигменты минеральные искусственные включают в себя пигменты белые (свинцовые, цинковые, титановые белила), красные (сурик свинцовый), желтые (крон свинцовый, крон цинковый), черные (сажа), синие (ультрамарин, лазурь), зеленые (окись хрома) и др.

Свинцовые белила — основной углекислый свинец состава 2PbCO₃·Pb(OH)₂. Свинцовые белила очень укрывисты, свето- и атмосферостойки, обладают высокими антикоррозионными свойствами. Недостатком их является вредность для здоровья работающих с ними.

Цинковые белила — окись цинка ZnO — получают из металлического цинка или цинковых руд переводом металла при высокой температуре в парообразное состояние с последующим окислением паров цинка.

Они обладают хорошей укрывистостью, не ядовиты, светостойки и сравнительно щелочестойки.

Титановые белила представляют собой двуокись титана, получаемую путем сложной переработки титановых руд. Титановые белила обладают высокой кроющей способностью, химической стойкостью, не чувствительны к действию света.

Сурик свинцовый Pb₃O₄ — является продуктом окисления свинцового глета. Цвет его от оранжевого до красного. Этот пигмент обладает стойкостью к действию щелочей, но в кислотах растворяется; хорошо защищает сталь от коррозии.

Крон свинцовый-хромовокислый свинец PbC₂O₄ — получают при взаимодействии хромпика с солями свинца. Содержание в кроне сернокислого свинца (до 20%) дает возможность придавать ему разные оттенки — от светло-лимонного до темно-желтого; широко применяют для масляной и лаковой окраски по металлу и дереву.

Крон цинковый — смесь хромокислого цинка с небольшим количеством хромового ангидрида. Кроны цинковые более светостойки, чем свинцовые, обладают высокими антикоррозионными свойствами.

Сажа является продуктом неполного сгорания органических веществ. Она обладает хорошей укрывистостью и высокой красящей способностью, а также устойчивостью к действию щелочей и кислот. Применяют сажу в масляных, лаковых, клеевых и известковых красочных составах.

Ультрамарин — искусственный синий пигмент, обладающий средней светостойкостью, щелочестоек. Его применяют в основном

для подцветки белых масляных и побелочных клеевых покрасок, для устранения их желтоватого оттенка.

Оксид хрома Cr_2O_3 получают в результате нагревания хромпика $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с восстановителем. Этот пигмент обладает абсолютной стойкостью к действию света и большой стойкостью к действию высоких температур; применяют для приготовления всех видов красок.

Связующие (пленкообразующие) вещества. Связующими в красочных составах служат вещества, обеспечивающие сцепление частиц пигмента и наполнителя между собой и с окрашиваемой поверхностью.

В качестве связующих веществ в красочных составах применяют олифы и лаки, эмульсии, водные растворы различных клеев и известковые тесто или молоко.

Олифы являются основными связующими веществами для приготовления масляных красочных составов. Олифы бывают натуральные, полунатуральные и искусственные.

Натуральные олифы изготавливают варкой льняного или конопляного масла при температуре до 200°C . Образование пленок на окрашенной поверхности происходит вследствие окисления кислородом воздуха тонкого слоя олифы. Пленка олифы после окисления становится устойчивой по отношению к веществам, растворяющим олифу.

Олифы полунатуральные получают обработкой растительных масел нагреванием до полимеризации или продуванием воздуха. Для придания полученным вязким продуктам необходимой жидкой консистенции их разбавляют органическими растворителями. Олифы полунатуральные выпускают следующих наименований: олифа полимеризованная, олифа-оксоль, оксоль-смесь. Они содержат до 55% уплотненных масел и 45% растворителя. Полунатуральные олифы в настоящее время наиболее широко применяются в строительстве.

Искусственные олифы — это связующие, получаемые химической обработкой различных органических веществ. Они не содержат растительные масла или содержат их не более 35%. Из большого ассортимента искусственных олиф в строительстве применяются следующие виды: олифа глифталевая — раствор глифталевой синтетической смолы в органических растворителях с некоторым количеством (до 35%) растительных масел; олифа синтоловая является продуктом окисления керосина кислородом воздуха и последующим растворением его в органических растворителях; олифа-карбоноль представляет собой раствор алюминиевых и кальциевых солей органических кислот в уайт-спирите или других легких растворителях.

Лаки представляют собой растворы природных или синтетических смол в легких растворителях. Лаки разделяют на масляно-смоляные, синтетические, канифольные, битумные, пековые. Лаки масляно-смоляные представляют собой растворы в органических растворителях синтетических смол, модифицированных высыхаю-

щими маслами. Синтетические лаки представляют собой раствор синтетических смол в органических растворителях. Наибольшее применение в строительстве нашли перхлорвиниловый, глифталевый и другие синтетические лаки. Глифталевый лак изготавливают из глифталевой смолы, сиккатива и растворителя.

Канифольный лак получают растворением канифоли, обработанной глицериновым эфиром в скипидаре или спирте. Он применяется для красящих составов, используемых при окраске внутренних помещений.

Битумные лаки — однородная смесь твердых битумов с легким растворителем. Для придания большей стойкости в смесь прибавляют высыхающие масла и синтетические смолы. Битумные лаки имеют черный цвет и применяются для окраски металлических элементов конструкций, чугунных труб и др.

Животные клеи (мездровый и костный) применяют в качестве связующих веществ водоклеевых красочных составов, для клеевых грунтовок и шпаклевок. Мездровый клей изготавливают развариванием в воде кожаных покровов животных с последующей сушкой раствора.

Костный клей изготавливают путем переработки клеящего вещества, извлекаемого из обезжиренных костей. Качество клея проверяют отсутствием гнилостного запаха, налетов и плесени, реакция клея должна быть нейтральной.

Казеиновый клей изготавливают путем воздействия кислот на снятое молоко с последующей сушкой продукта. Качество клея проверяют отсутствием гнилостного запаха и следов плесени. При смешении 1 части клея с 2 частями воды при $18-20^\circ\text{C}$ должен образоваться однородный раствор.

Казеиновый клей применяют в качестве связующего для клеевых грунтовок, шпаклевок и красочных составов со щелочеустойчивыми пигментами.

Растительные клеи (декстрин, крахмал пшеничный и картофельный) применяются для водорастворимых красочных составов, клеевых грунтовок и шпаклевок.

Декстрин получают при обработке крахмала кислотой при нагревании до $150-200^\circ\text{C}$.

Вспомогательные материалы. Сиккативы представляют собой растворы металлических солей жирных кислот в органических растворителях. Их применяют как добавки к олифам и масляным красочным составам для ускорения высыхания их пленок. Избыток сиккатива сокращает срок службы красящей пленки вследствие преждевременного старения.

Растворители в зависимости от назначения подразделяются на растворители для масляных красочных составов и лаков, растворители для глифталевых и битумных лаков и красок и растворители для эпоксидных, перхлорвиниловых лаков и красок. Наиболее распространенными растворителями, применяемыми в строительстве, являются скипидар, уайт-спирит, сольвент каменноугольный и ацетон.

Скипидар — продукт перегонки смолистой древесины сосны, подвергнутый химической очистке. Скипидар — бесцветная или слабоокрашенная прозрачная жидкость с характерным запахом, является растворителем большинства натуральных смол и применяется для разведения масляных и лаковых составов.

Уайт-спирит является продуктом перегонки нефти, средней фракцией между тяжелым бензином и тракторным керосином; применяется в качестве растворителя масел и лаков.

Ацетон — бесцветная легколетучивающаяся жидкость с резким запахом, низкой температурой кипения ($56,2^{\circ}\text{C}$), получается при перегонке древесины и синтетическим путем. Ацетон легко смешивается с водой, спиртом, эфиром; является хорошим растворителем жиров и некоторых синтетических смол.

Разбавители представляют собой жидкости, в которых связующее вещество не растворяется. Они служат для уменьшения вязкости красочного состава.

Наполнители представляют собой тонкомолотые минеральные вещества, добавляемые в красочные составы для экономии пигментов и повышения прочности, огнестойкости и других свойств красочных составов.

Для клеевых красочных составов светлых тонов применяется тонкомолотый каолин; для приготовления шпаклевочных составов применяют тальк, тонкомолотый кварц, андезит и др.

§ 125. КРАСОЧНЫЕ СОСТАВЫ

Красочные составы в зависимости от вида связующего вещества бывают масляные, эмалевые, водные и эмульсионные.

Масляные краски. Масляные красочные составы представляют собой пасту, полученную в результате тщательного растирания пигментов с олифой. При растирании олифы с пигментами должна получиться однородная смесь, в которой каждая частица пигмента или наполнителя имеет пленку связующего вещества. Масляные краски вырабатываются двух видов: густотертые и готовые к употреблению (жидкотертые). Густотертые краски содержат минимальное количество олифы и представляют собой пасты, к которым на месте работ нужно добавить олифу для получения состава рабочей консистенции.

Жидкотертые краски имеют вид жидкой массы и не нуждаются в разжижении. Густотертые краски содержат олифы 12—25%, жидкотертые — 30—50%.

Масляные краски применяют для наружных и внутренних покрасок по металлу, дереву и просохшей штукатурке. Качество масляных красок оценивается по содержанию и свойствам пигмента, наполнителя и олифы. Содержание олифы определяют экстрагированием ее из краски растворителями. Размер частиц пигмента и наполнителя не должен превышать 40 мк. Полное высыхание пленки масляных красок при температуре $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ должно наступать в течение 24 ч.

Красочные составы для антикоррозийных окрасок затирают и разбавляют натуральными олифами. Лучшими антикоррозийными пигментами являются свинцовый сурик, свинцовые белила. Наиболее экономичным составом для наружных покрасок металла является железный сурик, тертый на олифе.

Масляные краски хранят и перевозят в стальной или деревянной плотно закрытой таре.

Эмалевые краски представляют собой готовые к употреблению суспензии органических или минеральных пигментов на специальных синтетических связующих веществах.

Наиболее широкое применение в строительстве находят нитроглифталевые, алкидностирольные, эпоксидные, карбомидные и другие краски. Нитроглифталевые эмалевые краски представляют собой раствор нитроцеллюлозы, глифталевой синтетической смолы, пигмента и пластификатора в органических растворителях; применяются для внутренних помещений.

Алкидностирольные эмалевые краски состоят из суспензии пигментов на алкидностирольном лаке. Они обладают повышенной водостойкостью и химической стойкостью и поэтому применяются для окраски металлов с целью защиты от воздействия агрессивных сред.

Эпоксидные эмалевые краски представляют собой суспензию пигментов в растворе эпоксидной смолы. Они обладают повышенной химической стойкостью, высокой водостойкостью, поэтому используются для окраски металлических поверхностей в помещениях с повышенной влажностью и для наружных покрасок по металлу и дереву.

Карбомидные эмалевые краски состоят из пигмента, диспергированного в мочевино-формальдегидной смоле. Перед применением в нее добавляют кислотный отвердитель. Эмалевые краски применяют для окраски внутри здания.

Водные краски. Водные малярные краски для строительства бывают двух видов: водно-клеевые и водно-известковые. Водно-клеевые краски состоят из мела с пигментом и раствора клея в воде. В качестве связующего употребляют клей мездровый (для темных красок) и клей костный (для светлых красок). При приготовлении водно-клеевых составов пигмент размешивают с водой и вводят в замоченный мел, после чего добавляют 10-процентный раствор клея. Красочный состав пропускают через сито с отверстиями 0,15 мм.

Водно-клеевые красочные составы применяют для окраски оштукатуренных поверхностей внутри зданий.

Водно-известковые краски состоят из щелочеустойчивого минерального пигмента и известкового молока. Краски готовят на месте производства работ, используя воздушную или гидравлическую известь. Для лучшего сохранения влаги в красочные составы вводят небольшое количество добавок поваренной соли. Красочный слой наносится кистью или краскопультом на увлажненную поверхность, которая предварительно очищается от старой краски и грунтуется.

бается. Водно-известковые краски применяют для окраски кирпичных и бетонных поверхностей.

Силикатные краски состоят из растворимого калийного стекла, минеральных щелочестойких пигментов и кремнеземистых добавок. Силикатные краски применяют для окраски кирпичных и бетонных поверхностей. Наиболее атмосферостойкие покрытия получают при нанесении силикатной краски на основания, содержащие свободную известь, например на поверхность свежего бетона.

Эмульсионные краски состоят из суспензии пигмента в эмульсии синтетических смол и являются водоразбавляемыми. Наиболее известны поливинилацетатные, бутадиенстирольные и полиметилметакрилатные эмульсионные краски. Эмульсионные краски чаще всего выпускают в виде тщательно протертой жидкой пасты, которую на месте работ разводят водой до малярной консистенции. Эмульсионные краски образуют матовую поверхность; применяются для окраски внутренних помещений.

Поливинилацетатная краска применяется для внутренней и наружной окраски бетона, оштукатуренной поверхности и древесины; не рекомендуется для окраски полов и наружных окрасок.

Бутадиенстирольная краска применяется для внутренней и неответственной наружной покраски различных поверхностей.

Бабушкин В. И., Матвеев Г. М. и др. Термодинамика силикатов. М., Госстройиздат, 1972, 352 с.

Богуславский А. М., Богуславский А. А. Основные реологии асфальтобетона. М., «Высшая школа», 1972, 200 с.

Бочвар А. А. Металловедение. М., «Металлургия», 1966, 372 с.

Будников П. П. и др. Технология керамики и огнеупоров. М., Госстройиздат, 1962, 253 с.

Бутт Ю. М. и др. Технология вяжущих материалов. М., «Высшая школа», 1965, 320 с.

Ванин С. И. Древесиноведение. М., Гослесбумиздат, 1949, 450 с.

Волков М. И. Методы испытания строительных материалов. М., Стройиздат, 1974, 304 с.

Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., Стройиздат, 1971, 496 с.

Воробьев В. А. Основы технологии строительных материалов из пластических масс. М., «Высшая школа», 1965, 210 с.

Гезенцев Л. Б. Асфальтовый бетон. М., Стройиздат, 1964, 446 с.

Гершберг О. А. Технология бетонных и железобетонных изделий. М., Стройиздат, 1971, 360 с.

Глыбин В. С. Технология дорожного цементобетона. М., «Высшая школа», 1972, 272 с.

Грушко И. М., Ильин А. Г., Рашевский С. Т. Прочность бетонов на растяжение. Харьков, изд. ХГУ, 1973, 160 с.

Гун Р. Б. Нефтяные битумы. М., «Химия», 1973, 432 с.

Защепин А. Н. и др. Бетонные покрытия автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1961, 376 с.

Иванов Н. Н. и др. Строительство автомобильных дорог. Ч. II. М., «Транспорт», 1970, 488 с.

Каргин В. Л., Слонимский Л. С. Краткие очерки по физико-химическим полимерам. М., «Химия», 1967, 231 с.

Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М., «Транспорт», 1973, 264 с.

Колокольников В. С. Производство цемента. М., «Высшая школа», 1967, 216 с.

Ладыгин Б. И. и др. Прочность и долговечность асфальтобетона. Минск, «Наука и техника», 1972, 288 с.

Ли Ф. М. Химия цемента и бетона. М., Госстройиздат, 1961, 470 с.

Миронов С. А., Малинина Л. А. Ускорение твердения бетона. М., Стройиздат, 1965, 396 с.

Мороз И. И. Технология строительной керамики. Киев, «Высшая школа», 1972, 208 с.

Никишина М. Ф. и др. Дорожные эмульсии. М., «Транспорт», 1964, 170 с.

Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. М., «Знание», 1958, 64 с.

Руденский А. В., Руденская И. М. Реологические свойства битумино-минеральных материалов. М., «Высшая школа», 1971, 131 с.

Руденская И. М. Нефтяные битумы. М., Госвузиздат, 1963, 116 с.

Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. М., «Высшая школа», 1969, 399 с.

Сиденко В. М., Батраков О. Т. и др. Технология строительства автомобильных дорог. Ч. III. Киев, «Высшая школа», 1970, 252 с.

Хигерович М. И., Горчаков Г. И. и др. Строительные материалы. М., Стройиздат, 1970, 368 с.

Шестоперов С. В. Дорожно-строительные материалы. М., «Высшая школа», 1969, 672 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абразивы 66, 67
Автоклав 235, 236
Агломерат 467
Азотирование 466
Алит 137
Алитирование 466
Аллотропия 459
Алюминий 480, 481
Ангидриды 275, 276
Андезит 33, 45
Антипирены 448
Антофилит 253
Антисептики водорастворимые 444
— масляные 444, 445
Арматура 211
— стеклопластиковая 265
Армирование железобетонных изделий 217, 218
Асбест 238
Асбостинил 253
Асфальтены 275, 287, 289
Асфальтосмесители 384—386
Асфальтобетон крупнозернистый 341
— литой 403, 404
— мелкозернистый 341
— песчаный 341
— плотный 341
— пористый 341
— среднезернистый 341
— теплый 390—397
— холодный 397—403
— — на битумных эмульсиях 401—403
— — — жидких битумах 397—401
Ацетон 509, 510

Б

Базальт 33, 45
Белила титановые 267
Белит 137
Береза 424, 425
Бетон гидротехнический 201
— жароупорный 201
— кислотоупорный 202
— крупнопористый 200
— легкий 159

— на пористом щебне и песке 199, 200
— облегченный 159
— особо легкий 159
— — тяжелый 159, 202
— пробужденный 202
— силикатный 236, 237
— — плотный 237
— — пористый 237
— — ячеистый 237
— тяжелый 159, 202
— холодный 193, 194
— цветной 201
— ячеистый 200
Бетономешалка 185
Битумы 4, 8
— вязкие 272, 344
— жидкие 272, 301—305, 344
— — медленногустеющие 302, 303
— — среднегустеющие 302, 303
— нефтяные 272, 273
— окисленные 293
— остаточные 292, 297
— парафинистые 276
— полутвердые 297—300
— природные 272, 305—307
— сланцевые 272, 307, 308
— твердые 297—300
Борулин 416
Бречкиа 36, 37
Бронза 482
Брусчатка 63
Бук 425
Бумага асбестовая 253
Буримость горных пород 45

В

Вакуумирование 223
Вата шлаковая 107, 108
Вещества взрывчатые 55
— связующие 508, 509
— — бризантные 55
— — метательные 55
Вибраторы 186
Вибрация 16
Вибромельница 147
Виброплощадки 219
Вибропрессование железобетонных изделий 221

Вибропрокат 221, 222
— силовой 222
Виброформование железобетонных изделий 219, 220
Виброштампование железобетонных изделий 220, 221
Вискозиметр 302
Влагоемкость 431
Влажность 9, 429, 430
— природная 9
Вода для затворения смесей 164, 165
Водонасыщение 9
Водопоглощение 9, 46, 47
— тяжелых бетонов 170
Водопроницаемость бетона 170
Водопотребность цемента 143
Водостойкость асфальтобетона 366, 367
Водоудерживающая способность растворной смеси 204
Волокно стеклянное 118
Выбор материалов для бетона 180
Выносливость 11
Вяз 424
Вязкость битумов 281—283
— каменноугольных дегтей 309

Г

Габбро 31, 45
Газобетон 200, 201
Гашение извести 122, 123
Генезис горных пород 26
Гетерополимеры 242
Гигроскопичность древесины 429
Гидратор для гашения извести 123
Гидроизол 415
Гипс строительный 126—129
— — высокопрочный 128, 129
— формовочный 127
Глина 78—80
Гнейс 39, 40
Голландер 238
Гомополимеры 242
Граб 425
Гравий 70, 162
Гранит 8, 29, 30, 45
Гудрокам 415

Д

Дегтебетон 404—406
Дегти вязкие 272
— древесные 272, 318
— жидкие 272
— каменноугольные 272, 308, 309
— отогнанные 314
— составленные 314
— торфяные 272, 317, 318
Дерево 418
Деструкция 14, 15

— бетонов 224
Деформация 279
— при изменении влажности 177, 178
— температурная 178
— цементобетона под нагрузкой 170, 171
Диабаз 32, 45
Диориты 31, 45
Дистиллят пековый 313
Дистилляция нефти 290, 291
Добавки в растворах 206
— газообразователей 237
— для придания цвета 331
— к глинам отощающие 77
— — порообразующие 78
— — уплотняющие 78
— композиционные 333, 334
— к портландцементом активные минеральные 149, 150
— модифицирующие 329—331
— пенообразователей 237
— пластифицирующие 328, 329
— разжижающие 327, 328
— скелетные 409
— улучшающие прилипание 331—333
Долговечность 11
— бетона 178, 179
Доломит 39, 45
— каустический 130
Древесина 8
Дресва (жерства) 75
Дуб 423, 424

Е

Ель 426

Ж

Железобетон 211—233
Жидкость гидрофобизирующая кремнийорганическая 252, 253

З

Закалка 464
Запасы горных пород 43
Защита металла от коррозии 504, 505
Звукопроводность древесины 431

И

Известняк 37, 120, 121
— оолитовый 38
— плотный 8
— ракушечник 38
Известь 119, 205, 206
— воздушная 120—125
— гидравлическая 132
Изготовление дегтей 314—317
Изделия асбоцементные 237—239

— бетонные монолитные 212
— — сборные 212
— железобетонные легкие 213
— — монолитные 212
— — сборные 212
— — силикатные 213
— — тяжелые 213
— — ячеистые 213
— известково-песчаные (силикатные) 233—237
— из пластических масс 255—256
— из стекла 114—118
— камнелиты 113, 114
— керамические 4
— магнезиальные 240
— шлаковые литые 106
Износ щебня 49
Износостойкость асфальтобетона 368, 369
Индекс пенетрации 284
Интервал плавкости 80
— превращения битума 283
Испытание горной породы на морозостойкость 47, 48
— — — сернокислым натрием 48
Истираемость поверхности материала 8, 49

К

Камень бортовой 65
— бутовый 61
— валунный 69, 70, 72
— грубоколотый 62
— для облицовки 65
— ледорезный 65
— стеклянный 117
Камеры непрерывного действия 228, 229
— — — вертикальные 228
— — — туннельные 228
— периодического действия 227, 228
— — — ямного типа 227, 228
Камнедробилки ударного действия 58
— роторные 58
Карбены 275
Карбоиды 275
Карьеры 41
— коренных месторождений 51
— притрассовые 54
— промышленные 51, 54
— рыхлых горных пород 51
Катафот 117
Каучук бутадиеновый 267
Качество горной породы 43—51
— дорожно-строительных материалов 18, 19
— суспензий 322, 323
— щебня 59
— эмульсий 322, 323

Кварцит 40, 41
Кедр 427
Керамзит 98, 99
Керамика строительная 76, 77
Кирпич глиняный 8, 91—94
— — — известково-глинистый 236
— — — известково-зоольный 236
— — — известково-песчаный (силикатный) 234, 235
— — — известково-шлаковый 236
Кислоты асфальтогеновые 275, 276
Классификация сталей 475, 476
Клен 509
Клен 425
Клинкер 80—91
Ковка 487
Когезия битума 282
Компоненты пластобетона 261
Конгломерат 36, 37
Конструкции железобетонные с арматурой обычной 212
— — — — — предварительно напряженной 212
Контроль качества бетона 190
— — — железобетонных изделий 231—233
— — — — — акустическим методом 232, 233
— — — — — разрушением 232
— — — — — склерометрическим методом 232, 233
— — — — — сварки 501
Коррозия бетона 179
— — — — — металлов химическая 502
— — — — — электрохимическая 503
— — — — — цементного камня 144, 145
Котел гипсоварочный 128
Коэффициент водонасыщения 47
— — — — — вязкости 7
— — — — — изменчивости 232
— — — — — качества 428
— — — — — конструктивного качества материала 9
— — — — — пластмасс 255, 256
— — — — — морозостойкости 10, 47
— — — — — объемной усадки 430
— — — — — Пуассона 49, 50
— — — — — размягчения 47
— — — — — растворимости битумов 277
— — — — — хрупкости 51
Краски водные 511
— — — — — масляные 510
— — — — — огнезащитные 448
— — — — — силикатные 448, 511
— — — — — эмалевые 510, 511
— — — — — эмульсионные 511, 512
Красители пластбетона (пигменты) 261, 262
Крекирование нефти 291
Ксилолит 130, 240

Л

Лак 508, 509
— бакелитовый 249
— этиноль 269
Латекс 267
Латунь 482
Липариты 32
Лиственница 426
Литье в металлических формах 485
— под давлением 485
— центробежное 485

М

Магнезит каустический 129, 130
Макроструктура 11
— бетона 158, 159
Марка цемента 143
— щебня 60
Масса насыпная 9
— объемная 8, 46
— — древесины 428
Масло веретенное 254
— дизновое 254
— касторовое 254
— талловое 254
— тунговое 254
Мастики маркировочные цветные для дорожных покрытий 267, 268
— приклеенные 416—418
— — битумные 417
— — горячие 417
— — дегтевые 417
— — холодные 417
Материалы вяжущие 152
— — гипсовые 125—129
— — гипсоцементные 127
— — магнезиальные 129, 130
— — минеральные 118—120
— — водного твердения 119
— — — воздушного твердения 119
— — — гидравлические 132, 133
— — органические 271—340
— гидроизоляционные 415
— — обмазочные 415
— — оклеечные 415
— — пластичные 415, 416
— для пластобетона на термореактивных смолах 259
— для строительных растворов 205—206
— для цементобетона 160—165
— каменные искусственные 233—240
— — природные 20—76
— — — дробленые 20
— — — колотые 20
— — — пиленые 20
— — — штучные 20
— кровельные 411—418
— — беспокровные (подкладочные) 411

— — дегтебитумные 415
— — покровные (основные) 411
— — рулонные битумные 411—415
— — — дегтевые 411—415
— — магнезиальные 240
— — стекловолокнистые анизотропные 264
— — строительные 3
— — — из древесины 452—457
— — — искусственные 4
— — — местные 4
— — — природные 4
— — — промышленного (централизованного) производства 4
— — — шлаковые 101—113
— — сырьевые для керамического производства непластичные 77
— — — — пластичные 77
Машины для измельчения глины 82
— для вертикального вытягивания стеклянного листа 116.

Медь 482
Мезоструктура 11
— бетона 158, 159
Мел 39
Мельница для помола клинкера 138
Мергели 121
Месторождение горных пород 41—43
— морское 72
— озерное 72
Металлоизол 416
Металлы 4
— благородные 458
— цветные 458
— черные 458
Метиленхлорид 267
Метод набрызга бетонной смеси 223
— формирования железобетонных изделий 219
Метризол 415
Микроструктура 11
— бетона 158, 159
Мипора 267
Мицелла битумная 287
Модуль сдвига 49
— упругости 7, 49
— — бетона 176, 177
Морозостойкость 9, 10, 47
— асфальтобетона 366—368
— бетона 178, 179
— раствора 205
Мрамор 41
Мука древесная 253

Н

Набухание бетона 177
— цемента 143
Нагрев железобетонных изделий лучистый 230
Назначение бетонных изделий 213
— железобетонных изделий 213

Наполнители 253, 254
— неорганические 253, 254
— органические 253
Недостатки пластмасс 256
Нефть 290—292
Нормализация стали 465

О

Обмазка 443
Обжиг клинкера-сырца 87—90
Обработка бетонов тепловая 225
— древесины антисептиками 443—447
Образования органогенные 28
Огнеупорность глины 79
Окисление 293
Окраска 443
Олифы 508
Олово 483
Ольха 425
Опока 37
Определение свойств горных пород технологических 44—46
— — — физико-механических 46—50
— — — химических 50, 51
Осадки химические 28
Осина 425
Остатки ковшовые (скорловинные) 109, 110
Отвердители 254
Отдельности горных пород 24—26
Отжиг 463, 464, 466
Отпуск 464, 465

П

Парафин 276
Поропласт 265, 266
Пароподогрев бетонной смеси 192, 193
Паста 318
— антисептическая 445
— силикатная 445
— экстрактовая 445
Пек 313, 315
Пемза шлаковая (термозит) 106
Пенетрация битумов 281
Пенобетон 200, 201
Пенопласт 265, 266
Пенополивинилхлорид 266
Пеностекло 117
Пергамин 414
Переработка горной массы 56—68
Перевозка битумо-дегтевых материалов 337
Песок 72—75, 163, 206, 343
— дробленый 75
— кварцевый 8
Песчаник 35, 36

Печь ванная для производства стекла 115
— вращающаяся для обжига цемента 135
— — — с рекуператором 135
— газогенераторная 89
— доменная 468
— кольцевая 88
— тоннельная сушильная 88
— — для обжига 89
— шахтная пересыпная 121
— — длиннопламенная 121
Пигменты 506—508
— минеральные искусственные 507, 508
— — природные 506, 507
Пихта 427
Плавление 80
Пластичность 7
— бетонной смеси 165—167
— битумов 282
— глины 79
— дегтей каменноугольных 309
Пластификаторы 254
Пластмассы 8, 241
— газонаполненные 265—267
Пластобетоны на термореактивных смолах 258—261
— на термопластичных смолах (цветные пластобетоны) 261, 262
Пленка полиамидная 268, 269
— полиэтиленовая 246, 268
Плитка керамическая 95, 96
Плиты для кладки цоколей и сводов 66
— карнизные 65, 66
— облицовочные 64, 65
— парпетные 65
— тротуарные 66
Плотность 8, 46
— древесины 428
— каменноугольных дегтей 310
Поверхностно-активные вещества 17
Погодоустойчивость 48
— каменноугольных дегтей 310
Подвижность смеси асфальтобетонной 380
— — бетонной 165—167
— — растворной 203
Ползучесть 8, 143
— асфальтобетона 362, 393
— пластмасс 255
Полиакрилат 248
Поливинилацетат 247
Поливинилхлорид 242, 246
Полимерцементобетон 256—258
Полимеры 241—253
— сетчатые 242
— термопластичные 242
— термореактивные 242
Полистирол 242, 246, 247
Полиэтилен 242, 244, 245

Получение жидких битумов 304, 305
 Полярность битумов 276, 277
 Помол клинкера 138, 139
 — комовой извести 123, 124
 Пористость материала 9, 46
 — бетона 169, 170
 — закрытая 13
 — открытая 13
 Породы битуминозные 307
 — горелые 100, 101
 — горные изверженные (магматические) 27, 52
 — — — глубинные 29—33
 — — — метаморфические 26, 39—41, 53
 — — — механические (обломочные) 27
 — — — рыхлые 27, 69—75
 — — — скальные 20—28
 — — — простые (мономинеральные) 21
 — — — сложные (полиминеральные) 21
 — — — древесные 423—427
 — — — лиственные 423—425
 — — — хвойные 425—427
 Пороки (повреждения) древесины 434—442
 — — грибами и бактериями 439—442
 — — насекомыми 438, 439
 — — от механических повреждений 437, 438
 — — от неправильного строения 435—437
 Порошок минеральный 343, 344
 Портландцемент 8, 133—145
 — белый 149
 — быстротвердеющий 146, 147
 — гидрофобный 148
 — дорожный 149
 — пластифицированный 147, 148
 — пуццолановый 149—152
 — сульфатостойкий 148, 149
 — цветной 149
 Порфир кварцевый 32
 — ортоклазовый 32
 Предел прочности при сжатии горной породы 48
 Предохранение каменных материалов от коррозии 68, 69
 Пресс вакуумный для формования труб 97
 — для формовки силикатного кирпича 235
 — ленточный 84
 — — вакуумный 85
 — кривошипный 487
 — механический 83
 Прессование 487
 — железобетонных изделий 222
 Приготовление бетонной смеси 182—185, 215, 216
 — строительных растворов 210, 211

Приемка материалов битумно-дегтевых 337, 338
 — — каменных 75, 76
 Прилипание битумов 278
 — дегтей каменноугольных 309
 Применение портландцемента 145
 — пленкообразующих веществ 268—271
 — пленок 268—271
 Припой 484
 Продукция для дорожного строительства из скальных пород дробления (щебень) 57
 — — — — — колотая 57
 — — — — — молотая 57
 Производство асфальтобетонных смесей 382—386
 — воздушной извести 121—123
 — нефтяных битумов 292—297
 — — — методом смешения 296, 297
 — — — окисленных 293—296
 — — — остаточных 292
 — цемента 133—139
 Прокатка 486
 Пропаривание железобетонных изделий 227, 228
 Пропитка древесины антисептиками 446, 447
 Профилирование металла холодное 488
 Прочность асфальтобетона 357—361
 — бетона 171—177
 — пластмасс 255
 — портландцемента 143, 144
 — раствора 204, 205
 — при сжатии 48, 49

Р

Разведка детальная 41, 42
 — рекогносцировочная 41, 42
 Разработка месторождений горных пород 51—56
 — — — — — подводным способом 54
 — — — — — подземным способом 54
 — — — — — открытым способом 54
 Распад известковый 103
 — силикатный 103
 — сульфидный 103
 Расслаиваемость растворной смеси 203, 204
 Растворосмесительная установка 210
 Растворы воздушные 203
 — гидравлические 203
 — гипсовые 203
 — для каменной кладки 206, 207
 — для изготовления блоков, панелей, плит 203
 — для штукатурных работ 208, 209
 — известковые 203, 206
 — кладочные 203
 — простые 203
 — сложные 203
 — специальные 203, 209, 210
 — строительные 203—211

— цементные 203
 — штукатурные 203
 Расчет состава растворов 207
 — — бетона 180—182
 Резка металлов, 501, 502
 Релаксация 243
 — напряжений 8, 364—366, 393
 Романцемент 132, 133
 Рубероид 411—414
 — гудрокамовый 414—415

С

Свариваемость сталей 500
 Сварка 492
 — ацетилено-кислородная 498—500
 — газовая 498
 — газозлектрическая 495
 — пластичным металлом 493
 — расплавленным металлом 493
 — термитная 500
 — химическая 498—500
 — электрическая 494—498
 — — автоматическая 496
 — — аргонодуговая 495
 — — атомноводородная 495
 — — в защитной среде 495, 496
 — — дуговая под водой 497
 — — контактная 497
 — — под флюсом 497
 — — роликовая 497
 — — стыковая 498
 — — точечная 497
 Свинец 483
 Сдвигустойчивость асфальтобетона 391—393
 Сепаратор 138, 139
 Сиениты 31, 45
 Силосование цемента 139
 Ситалл 117, 118
 Скипидар 509
 Смачиваемость асфальтобетона реологические 361—366
 — — структурно-механические 356—361
 — — упруго-вязкие 362, 363
 — асфальтобетонной смеси 379—382
 — битумов структурно-реологические 279—286
 — — физико-химические 273—278
 — горных пород водные 46
 — дорожно-строительных материалов промышленного производства 5—11
 — — — — — водные 9, 10
 — — — — — механические 6—8
 — — — — — технологические 11
 — — — — — физико-химические 10, 11
 — — — — — физические 8, 9
 — — — — — химические 10

— — — — — эксплуатационные 11
 — — — — — древесины 427—434
 — — — — — водные 429
 — — — — — механические 431—434
 — — — — — физические 427—431
 — — — — — каменноугольных дегтей 309—314
 — — — — — материалов и изделий из пластмасс 255, 256
 — — — — — адгезионные 255
 — — — — — теплоизоляционные 255
 — — — — — технологические 256
 — — — — — пластобетонов 259—261
 — — — — — портландцемента 140
 — — — — — растворов 203—205
 — — — — — цементнобетонных смесей 165—169
 Связность глины 80
 Смеси асфальтобетонные горячие 340
 — — — — — литые 379
 — — — — — жесткие 379
 — — — — — пластичные 379
 — — — — — теплые 340
 — — — — — холодные 340, 341
 — — — — — бетонные 165—169
 — — — — — сухие 223
 — — — — — битумогрунтовые 409—411
 — — — — — несkeletalные 411
 — — — — — skeletalные 409
 — — — — — битумоминеральные 342, 406—409
 — — — — — горячие 407
 — — — — — теплые 407
 — — — — — грунтогравийные 411
 — — — — — грунтощебеночные 411
 — — — — — дегтебетонные 405, 406
 — — — — — дегтегрунтовые 409—411
 — — — — — несkeletalные 411
 — — — — — skeletalные 409—411
 — — — — — минеральные составляющие 262
 Смеситель струйный турбулентный 217
 Смоли 274, 275
 — — — — — кислые 274
 — — — — — кремнийорганические 251
 — — — — — кумароно-инденовая 249, 267
 — — — — — мягкие 274
 — — — — — нейтральные 274
 — — — — — новолачная (термопластичная) 249
 — — — — — пековая 313, 314
 — — — — — поликонденсационная 244
 — — — — — полимеризационная 244
 — — — — — резольная (термоактивная, бакелитовая) 249
 — — — — — сырая торфяная 317
 — — — — — сырые высокотемпературные 311, 312
 — — — — — низкотемпературные 311, 312
 — — — — — твердые 274
 — — — — — фенолоформальдегидная 248, 249
 — — — — — эпоксидная 249—251, 270
 Соединения углерода 273
 Сосна 426
 Состав битума 273, 274

Сплавы алюминиевые 481, 482
 — меди 482, 483
 Способ переработки нефти 290—292
 — — — масляный 290
 — — — топливный 290
 — получения стали в дуговых печах 474
 — — — в электрических печах 473, 474
 — — — конвертерный 471
 — — — мартеновский 472, 473
 — — — томассовский 471, 472
 — термоса 191, 192
 Стали 8, 470—474
 — арматурные 477
 — групп А, Б, В 477
 — инструментальные 478
 — кипящие 476
 — конструкционные 475
 — легированные 478—480
 — обыкновенного качества 477
 — полуспокойные 476
 — спокойные 476
 — углеродистые 476
 — — качественные конструкционные 478
 Станки для обработки металлов 490, 491
 Станок резательный автоматический 86
 Старение органических вяжущих материалов 323—327
 Ствол полндревесный 418
 — сбежистый 418
 Стекло 8, 114—118
 — оконное 116, 117
 — растворимое 130—132
 Стекловолокниты 264
 Стеклопластики 263—265
 Стеклотекстолиты 264
 Степень измельчения щебня 57
 Стойкость антикоррозийная 255
 Строение дерева 418—423
 Структура асфальтобетона 351—356
 — — базальная 341
 — — контактная 341
 — — поровая 341
 — — базальная 12
 — горных пород 21—23, 44
 — — — грубозернистая 21
 — — — крупнозернистая 21
 — — — мелкозернистая 21
 — — — однородная мелкокристаллическая (мелкозернистая) 21—23
 — — — оолитовая 22
 — — — порфировая 22
 — — — скрытокристаллическая 23
 — — — среднезернистая 21
 — — — стекловатая 21, 22
 — каменноугольных дегтей 308, 309
 — коагуляционная 12

— коагуляционно-конденсационная 13
 — конденсационная 12, 13
 — контактная 12
 — кристаллизационная 12, 13
 — кристаллизационно-конденсационная 13
 — крупнокристаллическая 13
 — мелкокристаллическая 13
 — поровая 12
 — среднекристаллическая 13
 — материалов 11
 — — однокомпонентная 11
 — — двухкомпонентная 11
 — — трехкомпонентная 11
 — — многокомпонентная 11
 — металлов 459—463
 — органических вяжущих материалов 286—290
 — природных битумов 306
 — цементного камня 142
 Структурообразование 14—18
 — асфальтобетона 344—349
 Суспензии битумные 272, 273
 Сушилка камерная 87
 Сушка древесины естественная 449, 450
 — — искусственная 450, 451
 — — петролатумом 452
 — сырца 86, 87
 Схватывание цемента 140—142

Т

Твердение бетона 189
 — железобетонных изделий 224—231
 — цемента 140—142
 Твердость горных пород 44
 — материала 8
 Текстура горных пород 23, 24, 44
 — дорожно-строительных материалов крупнопористая 13
 — — среднепористая 13
 — — тонкопористая 13
 — древесины 427, 428
 Температура затвердевания (хрупкости) 284
 — размягчения 284
 — спекания 80
 Теория макромолекулярная 288—290
 — мицеллярная 286—288
 Теплоемкость 286
 Теплопроводность 286, 431
 Теплоустойчивость битума 283
 — каменноугольных дегтей 309
 Тетраэроксилит 240
 Технология производства асбоцементных изделий 238, 239
 — — железобетонных изделий 213—215
 — — — конвейерная 213—215
 — — — при агрегатно-поточном способе 214

— — — — — кассетном способе 214
 — — — — — стендовом способе 214
 — — сборных бетонных изделий 214—217
 — — железобетонных изделий 215—223
 — — силикатных изделий 233—237
 Технология цементнобетонных работ 180—190
 Тиксотропия бетонной смеси 168, 169
 Тиксотропность 12
 Титан 483
 Ткани гидроизоляции 415
 Толь кровельный беспокровный 414
 — — покровный 414
 Тонкость помола цемента 140
 Торкет-бетон 223
 Транспортирование бетонной смеси 184, 185
 Трахит 32
 Трещиностойкость асфальтобетона 393
 Трубы асбоцементные 239
 — дренажные 98
 — канализационные 96, 97
 — — керамические 96
 — полиэтиленовые 245
 — стеклянные 117
 Туф известняковый 38

У

Удобоукладываемость бетонной смеси (жесткость) 165—167
 Укладка асфальтобетонной смеси 386
 — бетонной смеси 185—189
 Упаковка цемента 139, 140
 Уплотнение асфальтобетонной смеси 386, 387
 — бетонной смеси 185—189
 Уплотняемость асфальтобетонной смеси 380—382
 Упругость материала 7
 Усадка 80
 — бетона 177, 178
 — цемента 143
 Устойчивость битумов при нагревании 285, 286
 Усушка 80
 Уход за бетоном 189, 190

Ф

Ферросплавы 469
 Фибролит 130, 240
 Формование железобетонных изделий 218—223

— — — горячее 231
 — — — методом литья 219
 — — — центрифугированием 222, 223
 Формовка сырца 83—86
 Формы 218, 219
 Фракционирование нефти 290—292
 Фракция антраценовая 313
 — легкая 312
 — нафталиновая 313
 — поглощающая 313
 — фенольная 312

Х

Хранение материалов для бетона 182
 — порглицемента 145
 Хрупкость горной породы 49

Ц

Цвет пластмасс 255
 Целит 137
 Цемент 163, 164
 — ангидритовый 129
 — глиноземистый 154—157
 — — ангидритовый 156
 — известково-шлаковый 154
 — оболочный 35
 — основной 35
 — расширяющийся 156
 — сульфатно-шлаковый 154
 — трехкомпонентный 152
 — шлаковый 152—154
 — шлакоглиноземистый 156
 Цементация 465, 466
 Цементобетон 157—202
 — дорожный 194—198
 — легкий 198—201
 — обычный (тяжелый) 169—179
 — специальный 201—202
 Цементобетонные работы при низких температурах воздуха 190—194
 Цинирование 466
 Цинк 483

Ч

Черепица гончарная кровельная 94, 95
 — стеклянная 117
 Чугун 466—470
 — белый 469
 — высокопрочный 470
 — ковкий 470
 — серый 469, 470

Шашка каменная для мозаичной мозаичной 63, 64
 — — для мощения 62, 63
 Шкала твердости 44
 Шлаки металлургические 101—110
 — — доменные 101—104
 — — гранулированные 104, 105
 — — отвальные 108, 109
 — — сталеплавильные 101, 110, 111
 — — — ваграночные 111
 — — — конверторные 111
 — — — мартеновские 110
 — — — электросталеплавильные 111
 — — цветной металлургии 101
 — — — медеплавильные 111, 112
 — — — никелевые 112
 — — — топливные 112
 — — — черной металлургии 101
 Шлакопортландцемент 153, 154
 — быстротвердеющий 153, 154
 Шлакосталлы 106

Шприц-бетон 223
 Штамповка листовая 487, 488

Щ

Щебень 8, 57—60, 160—162, 342, 343
 — клинкерный 99, 100
 — черный 409
 — шлаковый литой 105

Э

Электроподогрев бетонной смеси 192, 193
 Электропрогрев железобетонных изделий 229, 230
 Эмульгаторы 319—321
 Эмульсия битумная 272, 273, 318—323
 — — обратного типа 320
 — — прямого типа 320
 — дегтевая 318
 — поливинилацетатная 247

Оглавление

Введение	3
Глава I. Состав, структура и основные свойства дорожно-строительных материалов	5
§ 1. Свойства дорожно-строительных материалов	5
§ 2. Структура материалов	11
§ 3. Основные технологические принципы получения искусственных материалов с заданными свойствами	14
§ 4. Система оценки качества дорожно-строительных материалов	18
Глава II. Природные каменные материалы	20
§ 5. Общие сведения	20
§ 6. Скальные горные породы как сырье для производства каменных материалов	20
§ 7. Техническая характеристика главнейших горных пород	28
§ 8. Обследование (разведка) месторождений горных скальных пород	41
§ 9. Определение качества горных пород	43
§ 10. Разработка месторождений горных пород	51
§ 11. Переработка горной массы	56
§ 12. Предохранение каменных материалов от коррозии	68
§ 13. Рыхлые горные породы как строительный материал	69
§ 14. Приемка каменных материалов	75
Глава III. Искусственные каменные строительные материалы и изделия (с обжигом)	76
§ 15. Строительная керамика	76
§ 16. Сырьевые материалы для керамического производства	77
§ 17. Клинкер	80
§ 18. Строительный глиняный кирпич	91
§ 19. Черепица, плитки и трубы	94
§ 20. Керамзит, клинкерный щебень, горелые породы	98
§ 21. Шлаковые строительные материалы	101
§ 22. Камнелитные изделия	113
§ 23. Материалы и изделия из стекла	114
Глава IV. Минеральные вяжущие материалы	118
§ 24. Характеристика минеральных вяжущих материалов	118
§ 25. Воздушная известь	120
§ 26. Гипсовые вяжущие материалы	125
§ 27. Магнезиальные вяжущие материалы	129
§ 28. Растворимое стекло	130
§ 29. Гидравлические минеральные вяжущие материалы	132
§ 30. Портландцемент	133
§ 31. Особые виды портландцемента	146
§ 32. Пуццолановые портландцементы	149
§ 33. Шлаковые цементы	152
§ 34. Глиноземистые (алюминатные) цементы	154

	Стр.
Глава V. Цементобетоны	157
§ 35. Определение, основные технические требования и классификация	157
§ 36. Материалы для цементобетона	160
§ 37. Свойства цементобетонных смесей	165
§ 38. Обычный (тяжелый) цементобетон	169
§ 39. Технология цементобетонных работ	180
§ 40. Цементобетонные работы при низких температурах воздуха	190
§ 41. Дорожный цементобетон	194
§ 42. Легкие цементобетоны	198
§ 43. Специальные цементобетоны	201
Глава VI. Строительные растворы	203
§ 44. Классификация строительных растворов	203
§ 45. Основные свойства растворов	203
§ 46. Материалы для строительных растворов	205
§ 47. Растворы для каменной кладки	206
§ 48. Растворы для штукатурных работ	208
§ 49. Специальные растворы	209
§ 50. Приготовление строительных растворов	210
Глава VII. Сборные бетонные и железобетонные изделия	211
§ 51. Общие сведения о железобетоне. Классификация изделий	211
§ 52. Технологические схемы производства железобетонных изделий	213
§ 53. Особенности технологии производства сборных бетонных и железобетонных изделий	215
§ 54. Твердение железобетонных изделий	224
§ 55. Контроль качества изделий	231
Глава VIII. Искусственные каменные материалы (без обжига)	233
§ 56. Известково-песчаные (силикатные) изделия	233
§ 57. Силикатные изделия	237
§ 58. Асбоцементные изделия	238
§ 59. Магнезиальные изделия и материалы	240
Глава IX. Материалы и изделия из пластических масс	241
§ 60. Характеристика пластмасс	241
§ 61. Состав и свойства связующего вещества	241
§ 62. Наполнители и другие компоненты	253
§ 63. Основные свойства материалов и изделий из пластмасс	255
§ 64. Полимерцементобетон	256
§ 65. Пластобетоны на термореактивных смолах	258
§ 66. Пластобетон на термопластичных смолах (цветные пластобетоны)	261
§ 67. Стеклопластики	263
§ 68. Газонаполненные пластмассы	265
§ 69. Цветные маркировочные мастики для дорожных покрытий	267
§ 70. Применение пленок и пленкообразующих веществ и клеев в дорожном строительстве	268
Глава X. Органические вяжущие материалы (битумы и дегти)	271
§ 71. Определение и классификация	271
§ 72. Состав и физико-химические свойства органических вяжущих материалов	273
§ 73. Структурно-реологические свойства	279
§ 74. Структура органических вяжущих материалов	286
§ 75. Нефть и способы ее переработки	290
§ 76. Производство нефтяных битумов	292
§ 77. Полутвердые и твердые битумы	297
§ 78. Жидкие битумы	301
§ 79. Природные битумы	305
§ 80. Сланцевые битумы	307

§ 81. Каменноугольные дегти	308
§ 82. Торфяные и древесные дегти	317
§ 83. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты	317
§ 84. Старение битумов и методы повышения их устойчивости	317
§ 85. Добавки, вводимые в органические вяжущие материалы	317
§ 86. Исследования свойств битума в тонких слоях	317
§ 87. Перевозка и хранение органических вяжущих материалов	317
Глава XI. Асфальтобетон	340
§ 88. Определение, классификация и область применения асфальтобетона	340
§ 89. Материалы для асфальтобетона	342
§ 90. Закономерности формирования структуры асфальтобетона	344
§ 91. Распределение битума в асфальтобетоне	349
§ 92. Структура асфальтобетона	351
§ 93. Структурно-механические свойства асфальтобетона	356
§ 94. Требования к асфальтобетону и назначение составов	370
§ 95. Технология приготовления асфальтобетона	379
§ 96. Теплый асфальтобетон	390
§ 97. Холодный асфальтобетон	397
§ 98. Литой асфальтобетон	403
§ 99. Дегтебетон	404
§ 100. Битумоминеральные смеси и черный щебень	406
§ 101. Битумогрунтовые и дегтегрунтовые смеси	409
Глава XII. Рулонные и листовые кровельные и гидроизоляционные материалы	411
§ 102. Рулонные битумные и дегтевые кровельные материалы	411
§ 103. Гидроизоляционные материалы	415
§ 104. Приклеечные мастики	416
Глава XIII. Строительные материалы из древесины	418
§ 105. Строение дерева	418
§ 106. Главнейшие древесные породы	423
§ 107. Свойства древесины	427
§ 108. Пороки древесины	434
§ 109. Предохранение древесины от разрушения	442
§ 110. Предохранение древесины от огня	447
§ 111. Заготовка и сушка древесины	448
§ 112. Сортамент строительных материалов из древесины	452
Глава XIV. Металлические материалы	458
§ 113. Общие сведения	458
§ 114. Структура металлов	459
§ 115. Термическая и химико-термическая обработка сталей и чугунов	463
§ 116. Металлургия черных металлов	467
§ 117. Основные свойства и классификация стали	474
§ 118. Цветные металлы и сплавы	480
§ 119. Основы литейного производства	484
§ 120. Обработка металлов давлением	485
§ 121. Обработка металлов резанием	490
§ 122. Сварка и резка металлов	492
§ 123. Коррозия металлов и методы защиты	502
Глава XV. Лакокрасочные материалы	506
§ 124. Составляющие красок и лаков	506
§ 125. Красочные составы	510
Список литературы	513
Предметный указатель	515

**Михаил Иванович Волков, Иван Михайлович Борщ,
Иван Макарович Грушко, Игорь Васильевич Королев**

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Редактор Л. Н. Пустовалова
Технический редактор Р. А. Иванова
Корректор В. Я. Кинареевская

Сдано в набор 1/X 1974 г.	Подписано к печати 18/II 1975 г.
Бумага 60×90 ^{1/16} типографская № 2	Печатных листов 33
Учетно-изд. листов 38,93	Тираж 15 000
Т02240	Изд. № 1—1/15 № 5216
Зак. тип. 1681	Цена 1 р. 59 к.
Изд-во «ТРАНСПОРТ», Москва, Басманный туп., 6а	

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
г. Москва, Хохловский пер., 7.